



SKRIPSI – TK 141581

**PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK DENGAN
METODE *MIX PLASTIC SOFTENING AGREGATE*
UNTUK MENINGKATKAN KETAHANAN DAN
KUALITAS ASPAL BETON (LASTON) RAMAH
LINGKUNGAN**

Oleh :

**MUHAMMAD LUQMAN HAKIM
NRP. 02211546000012**

**FERRY IDA NUR'AINI
NRP. 02211546000013**

Dosen Pembimbing :

**Ir. NUNIEK HENDRIANIE, M.T.
NIP. 19571111 198601 2 001**

**Dr.Ir. SRI RACHMANIA JULIASTUTI, M.Eng.
NIP. 19590730 198603 2 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT – TK 141581

**UTILIZATION OF WASTE PLASTICS WITH MIX
PLASTICS SOFTENING AGREGATE METHOD AS
PERFORMANCE OF STABILITY AND QUALITY
ASPHALT CONCRETE (LASTON)**

By :

MUHAMMAD LUQMAN HAKIM

NRP. 02211546000012

FERRY IDA NUR'AINI

NRP. 02211546000013

Advisor :

Ir. NUNIEK HENDRIANIE, M.T.

NIP. 19571111 198601 2 001

Dr.Ir. SRI RACHMANIA JULIASTUTI, M.Eng.

NIP. 19590730 198603 2 001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK DENGAN METODE *MIX PLASTIC SOFTENING AGREGATE* UNTUK MENINGKATKAN KETAHANAN DAN KUALITAS ASPAL BETON (LASTON) RAMAH LINGKUNGAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Muhammad Luqman Hakim	02211546000012
Ferry Ida Nur Aini	02211546000013

Disetujui oleh Tim penguji Akhir :

1. Ir.Nuniek Hendrianie, M.T(Pembimbing I)
2. Dr.Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.....(Pembimbing II)
3. Dr. Ir. Sumarno, M.Eng (Penguji I)
4. Dr. Ir. Susianto, DEA(Penguji II)
5. Donny Satria Bhuananda, M.Sc Adv(Penguji III)



Surabaya, 17 Januari 2018

PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK DENGAN METODE MIX PLASTIC SOFTENING AGREGATE UNTUK MENINGKATKAN KETAHANAN DAN KUALITAS ASPAL BETON (LASTON) RAMAH LINGKUNGAN

Nama : 1. M. Luqman Hakim (02211546000012)
2. Ferry Ida N. A (02211546000013)
Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Nuniek Herdrianie, MT.
2. Dr.Ir.S.R Jujiastuti, M.Eng

ABSTRAK

Untuk meningkatkan perkerasan jalan di Indonesia terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, seperti pada kualitas agregat, metode pelaksanaan dan kualitas aspal. Rumusan masalah pada penelitian ini mengenai penambahan limbah plastik yang dapat memberikan pengaruh terhadap parameter marshall pada lapis aspal beton (LASTON). Metode yang digunakan pada penelitian ini dengan cara pencampuran basah yaitu pencampuran secara langsung material plastik ke dalam aspal panas sesuai dengan suhu campuran berdasarkan parameter *Tait*, kemudian ditambahkan agregat. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang digunakan pada penelitian ini adalah 5,7 %. Variabel yang digunakan adalah 5%, 7%, dan 9% plastik di substitusi pada nilai kadar optimum aspal yang digunakan, dengan variasi plastik 100% *High Density Polyethylene* (HDPE), 100% *Polypropylene* (PP), dan campuran HDPE:PP (50:50), kemudian dilakukan pengujian *Marshall*. Dari hasil uji yang dilakukan meliputi stabilitas, Flow, VIM, VFA, VMA, hingga nilai Marshall Quotion (MQ) diketahui bahwa dengan semakin banyak plastik yang ditambahkan maka semakin besar nilai MQ yang didapat. Hasil terbaik didapat pada variabel penambahan 9% plastik PP dengan peningkatan nilai MQ sebesar 179% dari aspal normal.

Kata Kunci: PP, HDPE, Aspal Beton, Marshall

**UTILIZATION OF WASTE PLASTICS WITH MIX
PLASTICS SOFTENING AGREGATE METHOD AS
PERFORMANCE OF STABILITY AND QUALITY
ASPHALT CONCRETE (LASTON)**

Name : 1. M. Luqman Hakim (02211546000012)
2. Ferry Ida N. A (02211546000013)
Departmen : Chemical Engineering FTI-ITS
Advisor : 1. Ir. Nuniek Herdrianie, MT.
2. Dr.Ir.S.R Jujiastuti, M.Eng

ABSTRACT

For the increase of pavement in Indonesia there are some things that must be taking seriously, for example the quality of aggregates, implementation techniques, and quality of asphalt. As the research problem in this case is addition of plastic bottle waste can give effect to marshall characteristic on concrete asphalt layer (LASTON). The method used for this research by wet process, which is method of direct mixing of plastic material into asphalt is heated at temperature according to *Tait* parameter, then aggregate added. The optimum asphalt content used in this research was 5.7%. Variables used were 5%, 7%, and 9% of the plastic in the substitution on the value of the optimum levels of the asphalt which is used, with 100% *High Density Polyethylene* (HDPE) plastic, 100% *Polypropylene* (PP), HDPE: PP and mixtures (50:50), then conducted Marshall test. From the results of tests performed include stability, Flow, VIM, VFA, VMA, up to the value of the Marshall Quoetion (MQ). Note that with more plastic is added cause the greater the value of the MQ. The best results were obtained on the variable addition 9% plastics PP with an increase in the value of the MQ 179% then normal asphalt.

Keywords : PP, HDPE, Asphalt Concrete, Marshall

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang kepada kami semua. Sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul :

“Pengolahan Limbah Plastik dengan Metode Mix Plastic Softening Agravate untuk Meningkatkan Ketahanan dan Kualitas Aspal Beton (LASTON) Ramah Lingkungan”

Penulis menyadari dalam penyusunan proposal skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Juwari, ST., M.Eng., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
2. Ir. Nuniek Herdrianie, MT selaku dosen pembimbing (1) dan Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng selaku dosen pembimbing (2) kami.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng selaku kepala Laboratorium Pengolahan Limbah Industri Departemen Teknik Kimia FTI-ITS
4. Ibu Dr. Lailatul Qadariyah., ST., M.T selaku koordinator Tugas Akhir dan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTI-ITS
5. Seluruh dosen dan karyawan yang ada di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
6. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, dan semangat kepada penulis mulai awal perkuliahan hingga menyelesaikan laporan skripsi ini.
7. Bapak Abubakar Tuhuloula dan Bapak Ramli Thahir yang selalu memberikan motivasi dan bimbingan ilmu kepada kami.
8. Rekan-rekan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri serta angkatan LJ Ganjil 2015 yang telah memberikan saran, motivasi, serta ilmu yang tidak putus-putusnya

kepada kami.

9. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan laporan skripsi ini.

Kami menyadari bahwa masih banyak hal yang perlu diperbaiki dalam tugas ini, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Januari 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GRAFIK.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-4
I.3 Tujuan Penelitian.....	I-5
I.4 Manfaat Penelitian.....	I-5
I.5 Batasan Penelitian	I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 <i>Plastik Secara Umum, Sifat Fisik</i> <i>dan Karakteristik</i>	II-1
II.2 Jumlah dan Persebaran Limbah Plastik di Indonesia	II-3
II.3 Bahan Baku	II-4
II.4 Penentuan Kisaran Titik Suhu Softening Plastik.....	II-8
II.5 Aspal	II-10
II.6 Penggunaan Aspal	II-17
II.7 Parameter-parameter Aspal	II-21
II.8 Pencampuran Plastik Dengan Aspal Pada Perkerasan Jalan Raya	II-23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	III-1
III.2 Bahan dan Alat Penelitian	III-1
III.3 Variabel Penelitian	III-1
III.4 Tahapan Metodologi Penelitian	III-3
III.5 Diagram Alir Percobaan.....	III-7

III.6 Analisis Hasil	III-9
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Penentuan Kisaran Suhu Leleh Plastik	IV-1
IV.2 Perencanaan Kadar Aspal Optimum (KAO)	
Aspal	IV-4
IV.3 Hasil Uji Parameter Marshall Pencampuran	
Plastik Terhadap Aspal	IV-20
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	57
V.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	xii
Lampiran	
APPENDIKS A	A-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Pola Pengolahan Sampah di Indonesia berdasarkan data Kementrian Lingkungan Hidup yang dilakukan di beberapa kota tahun 2012.....	I-2
Gambar II.1	Nomer kode plastik	II-2
Gambar II.2	Struktur plastik jenis PP	II-4
Gambar II.3	Skema HDPE Linear dan Bercabang	II-7
Gambar II.4	Susunan Perkerasan Pada Konstruksi Aspal .	II-17
Gambar II.6	Ilustrasi <i>VIM</i>	II-22
Gambar IV.1	Sampel Hasil Pencampuran Aspal Dengan Plastik	IV-20

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Data sifat fisik plastik	II-2
Tabel II.2	Jumlah sampah plastik di dunia	II-3
Tabel II.3	Data jenis pengujian dan persyaratan aspal tipe grade 60/70	II-13
Tabel II.4	Ketentuan sifat-sifat campuran aspal dimodifikasi berdasarkan Spesifikasi Bina Marga tahun 2010	II-14
Tabel II.5	Spesifikasi gradasi agregat gabungan berdasarkan ketentuan Bina Marga tahun 2010	II-16
Tabel II.6	Pengaruh persentase penambahan plastik terhadap uji kuat tekan pada PCA.....	II-23
Tabel III.1	Spesifikasi Pengujian Bahan Agregat Kasar	III-9
Tabel III.2	Spesifikasi Pengujian Bahan Agregat Halus	III-10
Tabel III.3	Spesifikasi Pengujian Filler	III-11
Tabel III.4	Spesifikasi pengujian bahan aspal AC 60/70	III-11
Tabel IV.1	Parameter Persamaan Tait untuk Polimer Cair Jenis HDPE dan PP (<i>Patrick A. Rodgers</i>).....	IV-2
Tabel IV.2	Hasil Perhitungan Densitas Plastik Jenis HDPE dan PP Cair Sesuai Parameter Tait.....	IV-3
Tabel IV.3	Analisa Saringan Agregat Kasar (10-10 mm).....	IV-5
Tabel IV.4	Analisa Saringan Agregat Sedang (5-10 mm).....	IV-5
Tabel IV.5	Analisa Saringan Agregat Halus (0-5 mm)..	IV-6
Tabel IV.6	Analisa Saringan Filler (Semen Portland)....	IV-6
Tabel IV.7	Hasil Uji Sifat Fisik Agregat	IV-7
Tabel IV.8	Hasil Pemeriksaan Uji Aspal.....	IV-8

Tabel IV.9	Hasil Gabungan (<i>Combined Aggregate</i>) 4 Fraksi	IV-10
Tabel IV.10	Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 4,7 %	IV-13
Tabel IV.11	Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 5,2 %	IV-13
Tabel IV.12	Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 5,7 %	IV-14
Tabel IV.13	Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 6,2 %	IV-14
Tabel IV.14	Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 6,7 %	IV-14
Tabel IV.15	Data Hasil Uji Parameter <i>Marshall</i>	IV-17
Tabel IV.16	Cara Pembacaan Data Hasil Uji Parameter <i>Marshall</i>	IV-18
Tabel IV.17	Jumlah Substitusi Plastik Terhadap Berat Aspal (gram).....	IV-19
Tabel IV.18	Uji Stabilitas Pencampuran Plastik Terhadap Aspal	IV-21
Tabel IV.19	Uji Flow (Kelelehan) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.	IV-24
Tabel IV.20	Uji VIM (Rongga dalam Campuran) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.	IV-28
Tabel IV.21	Uji VFA (Rongga Terisi Aspal) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal	IV-31
Tabel IV.22	Uji VMA (Rongga Dalam Agregat) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal	IV-33
Tabel IV.23	Uji <i>Marshall Quotient</i> Pencampuran Plastik Terhadap Aspal	IV-38

DAFTAR GRAFIK

Grafik IV.1	Hasil Perhitungan Densitas Plastik Jenis HDPE dan PP Cair Rentang Suhu 150–200 °C Sesuai Parameter Tait.....	IV-2
Grafik IV.2	<i>Combined Agregate</i> 4 fraksi.....	IV-10
Grafik IV.3	Hasil Uji Parameter <i>Marshall</i>	IV-16
Grafik IV.4	Uji Stabilitas Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.	IV-22
Grafik IV.5	Uji Flow (Kelelehan) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal	IV-25
Grafik IV.6	Uji VIM (Rongga dalam Campuran) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.	IV-28
Grafik IV.7	Uji VFA (Rongga terisi Aspal) Pencampuran PlastiK Terhadap Aspal.	IV-32
Grafik IV.8	Uji VMA (Rongga dalam Agregat) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal	IV-35
Grafik IV.9	Uji <i>Marshall Quotient</i> Pencampuran Plastik Terhadap Aspal	IV-37

BAB I

PENDAHULUAN

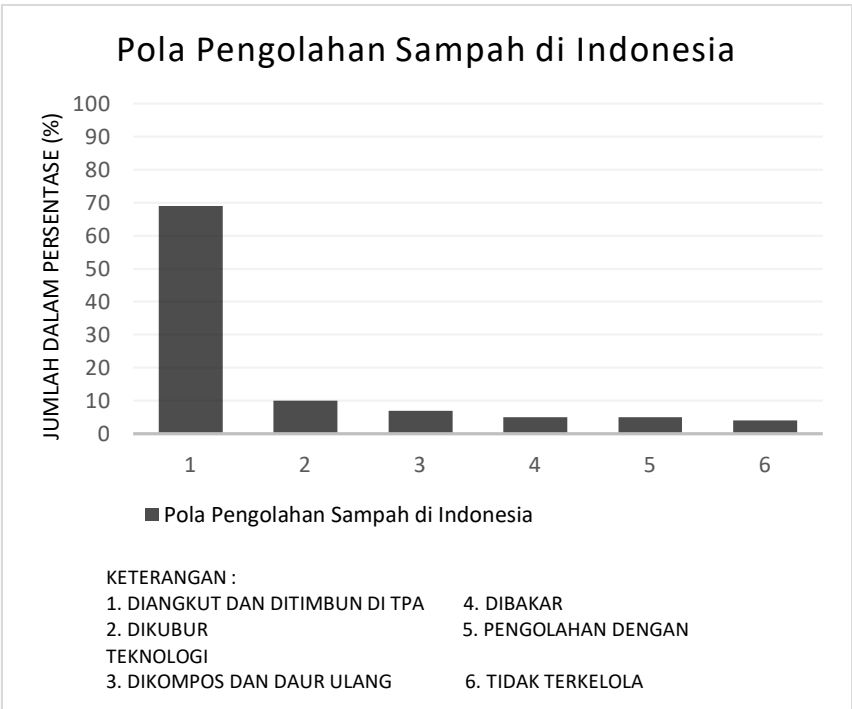
I.1 Latar Belakang

Plastik adalah produk yang sangat serbaguna, karena saat ini produksi plastik berlangsung sangat besar dengan harga bahan baku yang murah dan proses yang sangat ekonomis. Hampir setiap sektor utama penggerak perekonomian seperti produk agribisnis, mobil/motor, produk elektronik, kelistrikan, konstruksi bangunan, sektor komunikasi selalu membutuhkan plastik dalam proses produksi maupun distribusinya.

Semakin tinggi produksi sampah plastik yang dihasilkan akan menyebabkan perlunya dilakukan pengolahan terhadap sampah plastik tersebut. Dari data Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2012 menyatakan jumlah peningkatan timbunan sampah di Indonesia telah mencapai 175.000 ton/hari atau setara 64 juta ton/tahun. Permasalahan ini perlu ditangani secara serius, pemerintah telah banyak mengkaji solusi dan strategi nasional penanganan limbah plastik. Masyarakat pada umumnya sering membakar sampah plastik untuk mengurangi jumlah sampah plastik di lingkungan padahal sampah plastik yang dibakar akan menghasilkan gas hidrogen sulfida (H_2S) yang dapat menjadi racun bagi lingkungan. Terlebih lagi apabila dalam kandungan sampah plastik terdapat senyawa klorida (Cl) yang dapat menghasilkan dioksin (penyebab kanker) apabila dibakar dengan suhu rendah. Pengolahan yang lainnya adalah dengan mendaur ulang sampah plastik dimana sampah plastik diolah dan dirubah menjadi menjadi bahan plastik yang baru. Namun proses daur ulang tersebut hanya akan merubah sampah plastik menjadi bentuk yang baru bukan menanggulangi banyaknya sampah plastik, karena ketika produk daur ulang plastik sudah kehilangan fungsinya maka akan kembali menjadi sampah plastik. Tantangan terbesar pengelolaan sampah adalah penanganan sampah plastik yang ramah lingkungan. Maka dari itu diperlukan metode yang lebih efektif untuk dapat mengolah sampah plastik dalam skala

yang lebih besar. Salah satu metode tersebut adalah dengan mengolah limbah plastik menjadi bahan tambah (*additive*) pada pembuatan jalan raya aspal beton (laston) untuk meningkatkan kualitas dan ketahanan aspal beton.

Berikut kami sajikan data mengenai persentase pola pengolahan limbah plastik oleh masyarakat di Indonesia. Data tersebut dihimpun berdasarkan data riset Kementrian Lingkungan Hidup Indonesia yang dilakukan di beberapa kota pada tahun 2012 :



Gambar 1.1 Pola Pengolahan Sampah di Indonesia Berdasarkan Data Kementrian Lingkungan Hidup yang Dilakukan di Beberapa Kota Tahun 2012

Dari grafik diatas, persentase terbesar pada pengolahan limbah plastik adalah diangkut dan ditimbun di TPA (69%),

dikubur (10%), dikompos dan didaur ulang (7%), dibakar (5%), pengolahan dengan teknologi (5%) dan sisanya tidak terkelola (4%). Saat ini lebih dari 90% kabupaten/kota di Indonesia masih menggunakan sistem *open dumping* atau bahkan dibakar.

Salah satu sampah plastik yang cukup dominan adalah plastik jenis *Polyethylene* berbahan dasar HDPE (*High Density Polyethylene*), dikarenakan plastik berbahan dasar ini memiliki sifat yang cenderung lebih keras dan tahan terhadap suhu yang cukup tinggi atau berkisar pada 120°C. Sehingga, banyak sekali digunakan sebagai bahan plastik yang umum. Plastik HDPE ini sering dijumpai dalam bentuk kantong plastik, kontainer makanan, botol minuman, botol susu bayi, botol detergen/sabun dan lain-lain. Jenis yang lain juga yang sering kita jumpai adalah jenis *Polypropylene* (PP). Plastik jenis ini sering dijumpai dalam bentuk botol kemasan minuman dengan kode (5) di lokasi bawah botol. Polypropylene (PP) adalah termoplastik yang serba guna dan banyak ditemukan dalam pemakaian sehari-hari di rumah dan dalam bidang industri, misalnya pengemas makanan, bahan tekstil, peralatan laboratorium, loudspeaker, komponen otomotif, penjilid buku/binder dan gantungan pakaian.

Jalan raya merupakan komponen infrastruktur utama dalam prioritas pembangunan nasional, karena jalan raya berperan untuk menyalurkan penumpang, barang dan jasa, selain itu jalan juga merupakan bagian dari infrastruktur guna membuka daerah yang terisolir, untuk pertahanan nasional dan untuk pengembangan tingkat sosial, ekonomi dan budaya dari suatu daerah, sehingga konstruksi dan material badan jalan harus kuat serta tahan terhadap beban lalu lintas yang berlalu lalang setiap hari. Namun, sering dijumpai bahwa kondisi jalan raya mengalami kerusakan akibat tergerus oleh air hujan atau genangan. Hal ini akan berakibat negatif terhadap pengguna jalan karena rawan terjadi kecelakaan terutama pada daerah jalan raya yang padat. Selain karena beban jalan yang melebihi kapasitas, faktor perencanaan konstruksi badan jalan juga menjadi faktor utama seiring terjadinya masalah tersebut. Salah satu cara untuk

menaikkan mutu campuran jalan raya aspal adalah dengan menambahkan bahan tambah (*additive*). Bahan tambah ini memiliki sifat-sifat yang mendukung ketahanan dan kualitas jalan raya aspal (laston) sehingga jalan akan menjadi lebih kuat dan tahan terhadap genangan/air hujan.

Dari berbagai ulasan permasalahan diatas, maka perlunya sebuah studi penelitian untuk merancang teknologi pengolahan limbah plastik dengan judul penelitian “Pengolahan Limbah Plastik dengan Metode *Mix Plastic Softening Agregat* untuk Meningkatkan Ketahanan dan Kualitas Aspal Beton (laston) Ramah Lingkungan”.

I.2. Rumusan Masalah

Besarnya jumlah limbah timbunan plastik di Indonesia saat ini dan di tahun-tahun yang akan datang, dapat diolah kembali salah satunya dengan memanfaatkannya menjadi bahan additive pada teknik pembuatan aspal beton (LASTON). Plastik jenis PP dan HDPE akan mampu membentuk ikatan pencampuran yang baik karena susunan rantai alkana yang hampir sama. Demikian juga halnya pada plastik yang memiliki karakteristik turunan rantai carbon yang identik seperti halnya aspal tetapi memiliki sifat-sifat yang berbeda sehingga mampu memberikan dampak positif terhadap aspal. Diharapkan dari sebuah permasalahan kompleks terkait dengan jumlah timbunan sampah plastik ini dapat diubah menjadi sebuah peluang untuk membangun percepatan dan kualitas jalan raya aspal beton (campuran plastik) di Indonesia.

I.3 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini mempunyai tujuan yaitu :

- 1.3.1 Mengetahui karakteristik sifat-sifat fisik dan kimia pencampuran limbah plastik dan menentukan variabel pencampuran dari macam plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*) sehingga mampu menjadi bahan tambahan agregat terbaik pada aspal beton (laston) ?
- 1.3.2 Mengetahui pengaruh limbah plastik campuran jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*) terhadap ketahanan dan kualitas aspal beton (laston) melalui uji density, stabilitas, flow dan *marshall quotient*.

I.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif terhadap pemanfaatan pengolahan limbah plastik dalam skala besar, karena jumlah konsumsi plastik yang tinggi di Indonesia. Penelitian limbah plastik dari bahan baku plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*) yang melimpah akan dilakukan dengan metode *Mix Plastic Softening Agregat*. Metode ini memiliki keunggulan terhadap penyederhanaan proses pencampuran bahan *additive* pada aspal. Metode MPSa juga tidak menimbulkan polusi udara (gas beracun) akibat proses pencampuran bahan *additive* terhadap aspal sehingga penelitian ini diharapkan mampu memaksimalkan nilai guna limbah plastik dengan teknologi proses yang ramah lingkungan. Penelitian ini mempunyai potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai solusi atas meningkatnya jumlah konsumsi dan timbunan sampah plastik, dimana peningkatan jumlah limbah tersebut *linier* terhadap kuantitas pembangunan percepatan jalan raya lapis aspal beton (laston) di tahun-tahun yang akan datang.

I.5 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Penelitian menggunakan bahan plastik PP dan HDPE.
3. Penelitian dilakukan untuk mengetahui variabel campuran plastik terbaik dari 2 macam plastik yakni minuman gelas kemasan PP dan botol HDPE.
4. Penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan kimia plastik hasil pencampuran, kemudian produk aspal beton untuk diuji ketahanan dan kualitas dengan uji density, stabilitas, flow dan *marshall quotient*.

BAB II















TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Plastik Secara Umum, Sifat Fisik dan Karakteristik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer) (Das, 2007).

Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Plastik *thermoplast* adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas, yang termasuk plastik *thermoplast* antara *polyethylene terephthalate* (PET), *high density polyethylene* (HDPE), *polyvinyl chloride* (PVC), *low density polyethylene* (LDPE), *polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS). Plastik *thermoset* adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi, contoh plastik *thermoset* adalah *Poly Urethane* (PU), *Urea Formaldehyde* (UF), *Melamine Formaldehyde* (MF), *polyester*, *epoksi* dan lain-lain (Das, 2007).

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastik* adalah jenis yang memungkinkan untuk dapat didaur ulang (Zehev Tadmor, 2006). Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Berikut ini adalah gambar jenis-jenis plastik yang beredar di masyarakat yang dapat didaur-ulang.

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
polyethylene terephthalate	high-density polyethylene	polyvinyl chloride	low-density polyethylene	polypropylene	polystyrene	other plastics, including acrylic, polycarbonate, polyacetic fibers, nylon, fiberglass
soft drink bottles, mineral water, fruit juice containers and cooking oil	milk jugs, cleaning agents, laundry detergents, bleaching agents, shampoo bottles, washing and shower soaps	trays for sweets, fruit, plastic packing (bubble foil) and food foils to wrap the foodstuff	crushed bottles, shopping bags, highly-resistant sacks and most of the wrappings	furniture, consumers, luggage, toys as well as bumpers, lining and external borders of the cars	toys, hard packing, refrigerator trays, cosmetic bags, costume jewellery, audio cassettes, CD cases, vending cups	an example of one type is a polycarbonate used for CD production and baby feeding bottles
						

Gambar. II.1. Nomor kode plastik (UNEP, 2015).

II.1.1 Sifat dan Karakteristik Plastik Thermosplast

Plastik mempunyai karakteristik fisik yang dibutuhkan sebagai pertimbangan ketika memproses berbagai produk. Dimana, karakteristik fisik setiap plastik berbeda tergantung jenis plastiknya. **Tabel 2.1** menunjukkan data fisik beberapa jenis plastik (Vasudevan, 2011).

Tabel II.2 Data sifat fisik plastik

Plastik	Kelarutan air (%)	Temperatur softening (°C)	Hasil sampling	Temp. dekomposisi (°C)	Hasil Produk	Temp. Pembakaran (°C)	Hasil Produk
PE	0	100-120	Tidak terbentuk gas	270-350	CH ₄ , C ₂ H ₆	>700	CO,CO ₂
PP	0	140-160	Tidak terbentuk gas	270-300	C ₂ H ₆	>700	CO,CO ₂
PS	0	110-140	Tidak terbentuk gas	300-350	C ₂ H ₆	>700	CO,CO ₂

Keterangan : -PE : *Polyethylene*
 -PP : *Polypropylene*
 -PS : *Polystyrene*

II.2 Jumlah dan Persebaran Limbah Plastik di Indonesia

Menurut Direktur Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Pesisir dan Laut (PPKPL) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Indonesia hingga akhir tahun 2016 lalu tercatat sebagai kontributor sampah plastik di laut urutan kedua terbesar di dunia. Setiap tahunnya Indonesia rata-rata menyumbang 3,2 juta ton sampah plastik. Sedangkan China, penyumbang sampah plastik terbesar di dunia menghasilkan 8,8 juta ton sampah plastik per tahun.

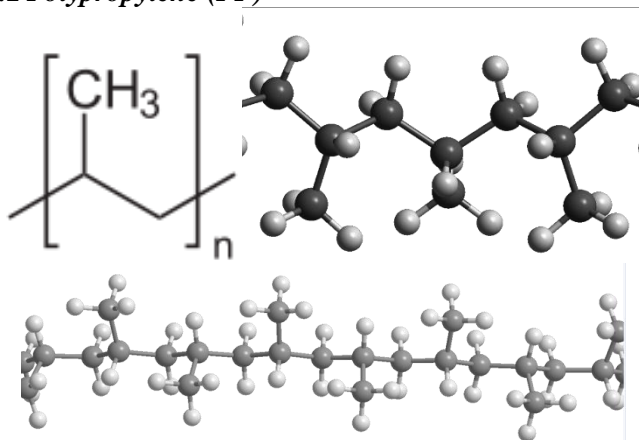
Tabel II.2 Jumlah Sampah Plastik di Dunia (*Jambeck, 2015*).

Rank	Negara	Presentase sampah plastik yang tidak terolah	Kuantitas sampah plastik yang tidak terolah (MMT/tahun)	Presentase sampah plastik yang tidak terolah di skala global
1	Cina	76	8,82	27,7
2	Indonesia	83	3,22	10,1
3	Filiphina	83	1,88	5,9
4	Vietnam	88	1,83	5,8
5	Sri Langka	84	1,59	5
6	Thailand	75	1,03	3,2
7	Egypt	69	0,97	3
8	Malaysia	57	0,94	2,9
9	Nigeria	83	0,85	2,7
10	Banglades	89	0,79	2,5
11	Afrika Selatan	56	0,63	2
12	India	87	0,60	1,9
13	Algeria	60	0,52	1,6
14	Turki	18	0,49	1,5
15	Pakistan	88	0,48	1,5
16	Brazil	11	0,47	1,5
17	Burma	6889	0,46	1,4
18	Maroko	9068	0,31	1
19	Korea Utara	290	0,30	1
20	Amerika	2	0,38	0,9

Indonesia *Solid Waste Association (InsWa)* secara keseluruhan, memperkirakan bahwa sampah di Jakarta mencapai 6.000 hingga 6.500 ton per hari. Sementara di Bali jumlah sampah dapat mencapai hingga 10.725 ton per hari. Kota Palembang jumlah timbunan sampah mencapai 1.200 ton per hari. Secara keseluruhan, Jumlah total sampah di Indonesia mencapai 175.000 ton per hari atau 0,7 kg per orang dengan akumulasi 67 juta ton per tahun. Sekitar 12,4 % adalah sampah plastik, sehingga total timbunan sampah plastik di Indonesia sebesar 5,4 juta per tahun.

II.3 Bahan Baku

II.3.1 Polypropylene (PP)



Gambar II.2 Struktur Plastik Jenis PP (*whiteley, 2005*)

Polypropylene (PP) merupakan polimer jenis termoplastik dengan sifat antara plastik LDPE dan HDPE yang terbuat dari kombinasi monomer propylene. *Polypropylene* (PP) digunakan dalam berbagai aplikasi dalam kemasan untuk produk konsumen bagian plastik untuk bidang industri, misalnya pengemas makanan, bahan tekstil, peralatan laboratorium, loudspeaker, komponen otomotif, penjilid buku/binder dan gantungan pakaian.

Polipropilena disusun oleh monomer-monomer yang merupakan senyawa vinil jenuh dengan stuktur ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$). Proses polimerisasi ini akan menghasilkan suatu rantai linier berbentuk $-\text{A}-\text{A}-\text{A}-\text{A}-\text{A}-$ dengan A adalah polipropilen yang merupakan polimer hidrokarbon. Kristalinitas merupakan sifat penting yang terdapat pada polimer yang menunjukkan susunan molekul yang lebih teratur. Sifat kristalinitas yang tinggi menyebabkan regangannya tinggi dan kaku. Dalam polipropilen, rantai polimer yang terbentuk dapat tersusun membentuk daerah kristalin dan amorf yang mana atom-atom terikat secara tetrahedral dengan sudut ikatan C-C sebesar $109,5^\circ \text{C}$ dan membentuk rantai zig-zag planar, (Steven, 2007)

Polypropylene (PP) memiliki beberapa karakteristik khusus seperti berikut ini (Bilmeyer, 2004) :

- PP memiliki ketahanan yang baik terhadap reaksi kimia, seperti ketahanan untuk tidak bereaksi pada larutan basa/asam. Hal ini dapat menjadikan PP sebagai pilihan yang baik untuk dijadikan tempat makanan dan wadah cairan kimia.
- Ringan (kerapatan $0,9 \text{ g/cm}^3$), mudah dibentuk, tembus pandang dan jernih dalam pembuatan film.
- Mempunyai kekuatan tarik lebih besar dari polyethylene (PE). Pada suhu rendah akan rapuh, mudah pecah sehingga perlu ditambahkan polyethylene atau bahan lain untuk memperbaiki ketahanan terhadap benturan.
- Lebih kaku dari PE dan tidak gampang sobek sehingga lebih mudah penanganannya.
- Permeabilitas uap air rendah, permeabilitas gas sedang.
- Tahan terhadap suhu tinggi sampai dengan 150°C .
- Titik leleh cukup tinggi pada suhu 170°C .
- Tahan terhadap asam kuat, basa dan minyak. Tidak terpengaruh pada pelarut di dalam suhu kamar kecuali HCL.
- Pada suhu tinggi polypropylene akan bereaksi dengan benzene, siklena, toluene, asam nitrat kuat.

Berdasarkan Bilal Demirel (2015) , berikut data-data sifat PP :

- | | |
|--|----------------------------------|
| a. Rumus kimia | : $(C_3H_6)_n$ |
| b. Densitas | : $0,905 \text{ g/cm}^3$ (20 °C) |
| c. Specific gravity | : $0,91 \text{ g/cm}^3$ (20 °C) |
| d. Suhu Softening | : 140 °C |
| e. <i>Melting Point</i> | : > 170 °C |
| f. Suhu Dekomposisi | : > 280 °C |
| g. Kelarutan terhadap air | : Tidak terlarut |
| h. Kapasitas panas (C) | : 1,0 kJ/ (kg. K) |
| (Kondisi standar pada 25 °C dan 200 kPa) | |
| i. Tensile Strength | : 32 Mpa (4700 psi) |
| j. Kekuatan keregangan (σ_t) | : 6000 psi |
| k. Persentase elastisitas | : 50 – 150 % |

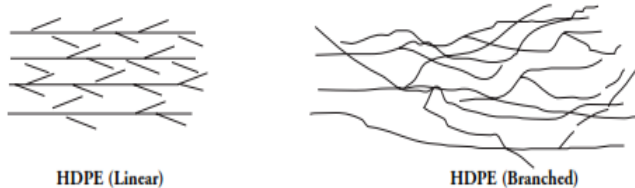
II.3.2 High Density Polyethylene (HDPE)

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah HDPE (*High Density Polyethylene*). Menurut Lester H. Gabriel, HDPE merupakan sebuah bahan termoplastik yang terbentuk dari atom karbon dan hidrogen yang bersatu dan membentuk berat molekul produk yang tinggi. Kemudian, dengan aplikasi panas dan tekanan, maka terbentuk *polyethylene*. Rantai polimer yang terbentuk sekitar 500.000 hingga 1.000.000 panjang unit karbon. Panjang atau pendek rantai samping berada pada rantai utama molekul. Semakin panjang rantai utamanya, maka nomor atom dan berat molekulnya adalah yang terbaik. HDPE memiliki proporsi kristal (dengan beberapa cabang) yang baik daripada LDPE (*Low Density Polyethylene*). Sehingga, densitas dan ketahanannya sangat baik.

HDPE (high density polyethylene) mempunyai densitas 950 kg/m³ yang biasa dan sering dipakai untuk kemasan jerigen minyak pelumas, botol susu yang berwarna putih susu, kursi lipat, dan lain-lain. Hasil tarik plastik HDPE memiliki sifat keras, bahan mempunyai urutan kekuatan tarik ke dua setelah kekuatan tarik plastik PET, dibandingkan dengan Bahan PP dan LDPE,

plastik HDPE lebih kuat tetapi ditinjau dari hasil pengukuran regangannya plastik HDPE sangat kecil , hal ini menunjukkan elastisitas HDPE sangat rendah atau cenderung getas (brittle).

Pada HDPE, rantai molekul tidak akan bertabrakan satu sama lain dan plastik akan mengalami pelelehan dengan aplikasi jumlah panas yang cukup, sehingga resin termoplastik akan terbentuk. Berdasarkan sifat mekaniknya, HDPE adalah bahan viskoelastik non-linear dengan sifat bergantung terhadap waktu.



Gambar II.3 Skema HDPE Linear dan Bercabang
(Sumber : Lester H. Gabriel)

Menurut WS Hampshire, Inc., HDPE memiliki dampak ketahanan yang sangat baik, ringan, rendah terhadap penyerapan air, dan memiliki daya renggang yang tinggi.

Berdasarkan WS Hampshire, Inc., berikut data-data sifat HDPE :

- | | |
|--|------------------------------|
| a. Rumus kimia | : $(C_2H_4)_n$ |
| b. Densitas | : $0,95 \text{ g/cm}^3$ |
| c. Suhu Softening | : 120°C |
| d. <i>Melting Point</i> | : $> 350^\circ \text{C}$ |
| e. Suhu Dekomposisi | : $> 450^\circ \text{C}$ |
| f. Daya penyerapan air | : 0 % (untuk 24 jam) |
| g. Kapasitas Panas | : $1,916 \text{ kJ/ (kg K)}$ |
| h. Daya renggang | : 4600 psi |
| i. Persentase elastisitas | : 50 – 100 % |
| j. Kekuatan tekan | : 3190 psi |
| k. <i>Specific gravity</i> (20°C) | : 0,94 – 0,958 |

Plastik HDPE umumnya digunakan untuk karung, plastik tempat sampah, kontainer kosmetik, botol susu, botol obat-obatan, dan mainan anak-anak (Andrew, 2000).

II.4 Penentuan Kisaran Titik Suhu Softening Plastik

Titik softening (titik lebur) merupakan titik pertama dimana plastik mengalami proses pelunakan. Di dalam proses pelunakan, ikatan kimia pada plastik (*inter molecular bending*) akan mudah lepas. Penentuan kisaran suhu *softening* plastik di dalam penelitian ini kemudian digunakan sebagai acuan pencampuran bitumen panas dengan plastik. Pada kandungan aspal terdapat struktur molekul aromatik. Aromatik adalah unsur pelarut aspalten yang paling dominan di dalam aspal. Aromatik terdiri dari rantai karbon yang bersifat non-polar yang didominasi oleh unsur tak jenuh dan memiliki daya larut yang tinggi terhadap molekul hidrokarbon dalam hal ini adalah plastik.

II.4.1 Model Empiris

Persamaan ini pertama kali dikembangkan oleh Tait pada tahun 1888. Berikut Penjelasan mengenai paramater Tait :

a. Penentuan Titik Softening

Mengacu pada Vasudevan (2010), bahwa besaran atau nilai untuk temperature softening jenis PET ditentukan sebesar $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pengertian secara umum mengenai titik *softening* adalah kondisi dimana plastik tersebut akan berubah bentuk. Penggunaan suhu tersebut merupakan salah satu komponen untuk susunan perhitungan nilai densitas yang nantinya merupakan hasil akhir yang dipakai sebagai acuan.

b. Volume Molar Plastik

Berdasarkan persamaan umum bentuk Tait yang dijelaskan oleh Patrick A. Rodgers pada "Pressure-Volume-Temperature Relationships for Polymeric liquids: A Review of Equations of State and Their Characteristic Parameters for 56 Polymers, bahwa untuk hubungan antara suhu dan molar dirumuskan sebagai berikut :

$$V(0,T) = V_0 \exp(\alpha T), \quad (2.1)$$

α = koef.ekspansi termal

c. Parameter Tait

Secara umum Parameter Tait merupakan nilai-nilai atau koefisien yang ditentukan guna menghitung besaran Tait yang diinginkan. Berdasarkan Patrick A. Rodgers, perumusan untuk Parameter Tait dirumuskan sebagai berikut :

$$B(T) = B_0 \exp(-B/T) \quad (2.2)$$

Untuk nilai (B_0) dan ($-B$) telah disajikan dalam bentuk tabel yang bertujuan untuk memudahkan perhitungan nantinya.

d. Volume dan Tekanan Pada Suhu Tertentu

Berdasarkan model empiris untuk menghitung nilai Volume $V(P,T)$, maka dikembangkan sedemikian rupa dan didapat perumusan sebagai berikut :

$$V(P,T) = V(0,T) \{1 - C \ln[1 + P/B(T)]\} \quad (2.3)$$

dimana, C adalah konstanta yang biasanya bernilai 0,0894.

e. Densitas

Besaran nilai densitas didapat dari hasil bagi masa Molar terhadap Volume pada Tekanan dan Suhu $V(P,T)$. Untuk nilai masa Molar ditentukan variabel terukur dan ditetapkan sebesar 1 gram. Artinya dalam 1 gram konsentrasi Molar plastik terdapat nilai yang telah diitung didalam parameter Tait, $V(P,T)$.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

dimana, m adalah massa molar dan V adalah volume molar.

II.4.2 Persamaan Penentuan Kisaran Viskositas Plastik

Data densitas kemudian akan menjadi acuan dalam penentuan nilai viskositas plastik. Menurut Pudiastuti dan Pratiwi, kisaran nilai viskositas plastik pada suhu tinggi dan tekanan atmosfer dapat diketahui melalui perbandingan data densitas plastik dengan data densitas pembanding dalam hal ini minyak tanah (*kerosene*). Percobaan dilakukan untuk mengetahui waktu laju alir keduanya sehingga nilai viskositas plastik dapat diketahui. Berikut rumus persamaan 2.5 untuk mengetahui

kisaran nilai viskositas plastik pada suhu tinggi dan tekanan atmosfer :

$$\eta_{\text{sampel}} = \frac{\rho_{\text{sampel}} \times t_{\text{sampel}}}{\rho_{\text{minyak tanah}} \times t_{\text{minyak tanah}}} \times \eta_{\text{minyak tanah}}$$

dimana; η = Viskositas (gr/m.s)
 ρ = Densitas (gr/cm³)
 t = Laju alir sampel (s)

II.5 Aspal

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanan (DPU,1994). Umumnya aspal dapat diperoleh dari alam maupun residu hasil proses destilasi minyak bumi.

Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh dan tak jenuh, alifatik dan aromatik yang mempunyai atom karbon sampai 150 per molekul. Atom-atom selain hidrogen dan karbon yang juga menyusun aspal adalah nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain. Secara kuantitatif, biasanya 80% massa aspal adalah karbon, 10% hidrogen, 6% belerang, dan sisanya oksigen dan nitrogen, serta sejumlah renik besi,nikel, dan vanadium. Massa molekul aspal bervariasi, dari beberapa ratus sampai beberapa ribu. Senyawa-senyawa ini sering dikelaskan atas aspalten (yang massa molekulnya kecil) dan malten (yang massa molekulnya besar). Biasanya aspal mengandung 5 – 2 % aspalten. Sebagian besar senyawa di aspal adalah senyawa polar. Akibat kepolaran molekul dalam aspal, molekul satu dengan lainnya dapat membentuk jejaring atau kluster seperti polimer dengan massa sampai ratusan ribu (Simanjutak, 2012).

Aspal merupakan salah satu material konstruksi perkerasan lentur . Aspal merupakan komponen kecil . Umumnya 4 – 10 % dari berat campuran. Tetapi merupakan komponen yang relatif mahal (*Emrizal, 2009*).

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas aspal alam dan aspal buatan.

Aspal alam adalah aspal yang terjadi secara alamiah di alam, dapat dibedakan menjadi dua kelompok :

1. Aspal danau (lake asphalt), aspal ini terdapat di danau Trinidad, Venezuela, dan Lawele. Aspal ini tersusun oleh bitumen, mineral dan bahan organik lainnya. Angka penetrasi dari aspal ini sangat rendah dantitik lembeknya sangat tinggi.
2. Aspal batu (rock asphalt), aspal ini terdapat di Pulau Buton Indonesia dan Kentucky USA. Aspal ini terbentuk dalam celah-celah batuan kapur dan batuan pasir. Aspal yang terkandung dalam batuan ini berkisar antara 12-35% dari massa batu tersebut dan memiliki tingkat penetrasi 0-40.

Aspal buatan atau aspal minyak dan merupakan hasil penyulingan minyak bumi. Minyak bumi disuling dengan proses destilasi yaitu suatu proses dimana berbagai fraksi dipisahkan dari minyak mentah tersebut dengan disertai kenaikan temperatur pemanasan. Aspal buatan dikelompokkan sebagai berikut :

1. Aspal keras (asphalt cement), aspal yang berbentuk solid pada suhu ruang dan menjadi cair bila dipanaskan, maka di dalam penggunaannya perlu dipanaskan terlebih dahulu. Persyaratan umum aspal keras adalah berasal dari destilasi minyak bumi, bersifat homogen. Kadar farafin dalam aspal tidak lebih dari 2 %, serta tidak mengandung air dan tidak berbusa jika dipanaskan sampai 175 °C.
2. Aspal cair (cutback asphalt), aspal cair dihasilkan dengan melarutkan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak seperti minyak tanah, bensin atau

solar dan berbentuk cair pada suhu ruang. (*Bahan dan Struktur Jalan Raya, 1995*).

Aspal pabrik merupakan aspal yang terbentuk oleh proses yang terjadi dalam pabrik, sebagai hasil samping dari proses penyulingan minyak bumi. Aspal pabrik ini, mempunyai kualitas standart. Menurut Oglesby, aspal pabrik terbagi kedalam tiga jenis, yaitu :

1. Aspal emulsi, yaitu campuran aspal (55%-65%), air (35%-45%) dan bahan emulsi 1% sampai 2%.
2. Aspal cair, disebut juga aspal cut-back, yang dibagi-bagi menurut proses fraksinya.
3. Aspal beton, disebut juga Asphalt Concrete (AC) yang dibagi-bagi menurut angka penetrasinya. Misal : AC 40/60, AC 60/70, dan seterusnya.

Aspal padat iran dengan penetrasi 60/70 merupakan salah satu jenis aspal yang diimport dari Iran-Teheran. Aspal jenis ini sangat sesuai dan direkomendasikan untuk Negara beriklim tropis seperti Indonesia, karena di desain untuk bisa elastic menyesuaikan suhu yang naik dan turun, contohnya aspal yang dipergunkaan sebagai bahan utama dalam penelitian ini yaitu aspal tersebut yang tercantum seperti pada Tabel II.3 berikut ini.

Tabel II.3 Data Jenis Pengujian dan Persyaratan Aspal Tipe Grade 60/70

Sifat	Ukuran	Spesifikasi	Standar pengujian
Densitas pada T=25°C	Kg/m ³	1010-1060	ASTM-D71/3289
Penetrasi pada T=25°C	0,1 mm	60/70	ASTM-D5
Titik leleh	°C	49/56	ASTM-D36
Daktilitas pada T= 25°C	Cm	Min.100	ASTM-D113
Kerugian pemanasan	%wt	Max.0,2	ASTM-D6
Penurunanpenetrasi setelah pemanasan	%	Max20	ASTM-D5&D6
Titik Nyala	°C	Min. 250	ASTM-D92
Kelarutan dalam Cs ²	%wt	Min. 99,5	ASTM-D4
Spot Test		Negatif	AASHO T102

Penambahan bahan polimer pada aspal yang bersifat plastomer dapat meningkatkan kekuatan tinggi dalam campuran aspal polimer. Pada sisi lain, bahan yang bersifat elastomer seperti karet alam, maupun karet sintetis, dapat memberikan aspal dengan fleksibilitas dan keelastisan yang lebih baik, termasuk juga perbaikan terhadap resistensi dan ketahanan terhadap temperatur rendah. Bahan aditif aspal yang biasanya dipakai adalah material dari jenis karet, baik karet sintetis, karet buatan, karet yang sudah diolah (dari ban bekas), atau bahan plastik (Paroli R, 1997).

II.5.1 Aspal Beton dan Karakteristik Fisik Kimia

Aspal beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Lapis aspal beton merupakan jenis tertinggi dari perkerasan yang merupakan campuran dari bitumen dengan agregat bergradasi menerus dan cocok untuk jalan yang banyak dilalui kendaraan berat. Material-material pembentuk aspal beton dicampur dan diinstalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran

ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145°-155° C, sehingga disebut aspal beton campuran panas. Proses pencampuran ini dikenal juga dengan nama *hotmix*.

Aspal beton harus memiliki karakteristik dalam pencampuran yaitu stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan. Ketujuh sifat aspal beton ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat aspal beton mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis aspal beton yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan, seperti mobil penumpang, sepantasnya lebih memilih jenis aspal beton yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi, daripada memilih jenis aspal beton dengan stabilitas tinggi.

Tabel II.4 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Aspal Dimodifikasi Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010

Sifat – sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Kadar aspal efektif (%)		4.5	4.2	4.2
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1.2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (%) (VIM)	Min.	3.0		
	Maks.	5.5		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%) (VFA)	Min.	65	63	60

Sifat- Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis antara	Pondasi
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	1000		2250
	Maks.	-		-
Pelelehan (<i>Flow</i>)	Min.	3		4.5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	300		350
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ⁰ C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2.5		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min.	2500		

II.5.2 Agregat

Agregat terdiri dari pasir, gravel, batu pecah, slag atau material lain dari bahan mineral alami atau buatan. Agregat merupakan bagian terbesar dari campuran aspal. Material agregat yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan tugas utamanya untuk menahan beban lalu lintas. Agregat dari bahan batuan pada umumnya masih diolah lagi dengan mesin pemecah batu (stone crusher) sehingga didapatkan ukuran sebagaimana dikehendaki dalam campuran. Agar dapat digunakan sebagai campuran aspal, agregat harus lolos dari berbagai uji yang telah ditetapkan (*Wahyudi, 2010*).

Agregat adalah suatu bahan yang keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran dan berupa berbagai jenis butiran atau pecahan, termasuk didalamnya antara lain: pasir, kerikil, agregat pecah, terak dapur tinggi dan debu agregat. Banyaknya agregat dalam campuran aspal pada umumnya

berkisar antara 90% sampai dengan 95% terhadap total berat campuran atau 70% sampai dengan 85% terhadap volume campuran aspal (Wahyudi, 2010).

Tabel II.5 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Berdasarkan Ketentuan Bina Marga Tahun 2010

No. Ukuran Ayakan		% berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
		LASTON (AC)		
(mm)	(inch)	WC	BC	Base
37.5	1 ½ “			100
25	1 “		100	90-100
19	¾ “	100	90-100	76-90
12.5	½ “	90-100	75-90	60-78
9.5	3/8 “	77-90	66-82	52-71
4.75	#4	53-69	46-64	35-54
2.36	#8	33-53	30-49	23-41
1.18	#16	21-40	18-38	13-30
0.60	#30	14-30	12-28	10-22
0.30	#50	9-22	7-20	6-15
0.15	#100	6-15	5-13	4-10
0.075	#200	4-9	4-8	3-7

II.5.3 Filler (Bahan Pengisi)

Bahan pengisi dapat terdiri atas debu batu kapur, debu dolomite, semen Portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi yang merupakan mikro agregat ini harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Portland semen mudah diperoleh dan mempunyai grading butiran yang bagus namun demikian harganya sangat mahal.

Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya. Banyak spesifikasi untuk wearing

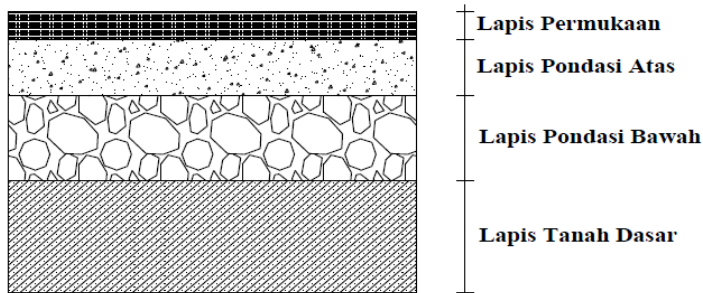
course menyarankan banyaknya bahan pengisi kira-kira 5% dari berat adalah mineral yang lolos saringan No. 200.

II.6 Penggunaan Aspal

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan perkerasan jalan dan lapisan tanah dasar yang telah dipadatkan (subgrade). Lapisan – lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya (*S.Simanjutak, 2012*).

Bagian perkerasan jalan umumnya meliputi :

1. Lapisan Permukaan (Surface Course)
2. Lapisan Pondasi Atas (Base Course)
3. Lapisan Pondasi Bawah (Sub Base Course)
4. Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)



Gambar II.4 Susunan Perkerasan Pada Konstruksi Aspal
Sumber : Silvia Sukirman, 1999.

II.6.1 Lapisan Permukaan (Surface Course)

Lapisan Permukaan yang pada umumnya terletak di bagian paling atas dari lapisan permukaan jalan, dan berfungsi sebagai :

1. Lapis perkerasan penahan beban roda kendaraan, lapisan yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya.

3. Lapis aus (Wearing Course), lapisan yang langsung menerima gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung lebih jelek.

Bahan untuk lapisan permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi yakni aspal, agregat dan filler. Penggunaan bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas. Maka untuk lapisan permukaan digunakan campuran aspal yang dapat berupa Laston, Penetrasi Mac Adam, dan lain – lain (S.Simanjatak, 2012).

Aspal keras/panas (*asphalt cement*, AC), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan (temperatur ruang).

Berdasar Petunjuk pelaksanaan LASTON untuk Jalan Raya, Dep.PU, 2010. Di Indonesia, aspal semen (*asphalt cement/AC*) biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya yaitu :

- a. AC penetrasi 40 / 50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40 – 50.
- b. AC penetrasi 60 / 70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60 – 70.
- c. AC penetrasi 85 / 100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85 – 100.
- d. AC penetrasi 120 / 150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120 – 150.
- e. AC penetrasi 200 / 300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200 – 300.

Uji Penetrasi, dilakukan dengan menggunakan sebuah jarum standar (beban 10 gram, termasuk berat jarum) ditusukan keatas permukaan aspal, panjang jarum yang masuk kedalam contoh aspal dalam waktu lima detik diukur dalam satuan persepuluh mili meter (0,1 mm) dan dinyatakan sebagai nilai

penetrasi aspal. Semakin kecil nilai penetrasi aspal, semakin keras aspal tersebut.

Aspal cement dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya dipergunakan aspal semen dengan penetrasi 60-70 dan 80-100 (*Departemen PU, 2010*).

11.6.2 Lapisan Pondasi Atas (Base Course)

Lapisan pondasi atas adalah Lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Fungsi lapisan pondasi atas ini antara lain sebagai:

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban lapisan di bawahnya.
2. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
3. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Lapisan pondasi atas adalah pasir halus sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan.

II.6.3 Lapisan Pondasi Bawah (Sub Base Course)

Lapisan Pondasi Bawah adalah lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Fungsi lapisan pondasi bawah ini antara lain adalah :

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
2. Efisiensi penggunaan bahan material. Bahan material pondasi bawah relative murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.
3. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
4. Lapisan untuk mencegah partikel – partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

Biasanya lapisan pondasi bawah diisi dengan batuan kerikil sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan terlebih dahulu.

II.6.4 Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)

Lapisan Tanah Dasar (Subgrade) dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana.

II.7 Parameter- Parameter Marshall

II.7.1 Stabilitas

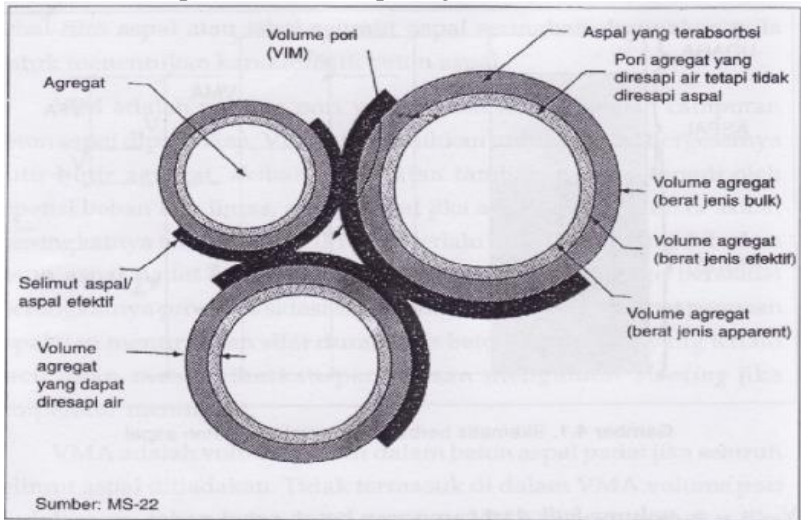
Menurut Sukirman, S (1999) stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, kebutuhan akan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya, perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi. Uji stabilitas dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Marshall Stabilitas Tester*.

II.7.2 Flow

Menurut Roberts, F. L (1991), *flow* dalam terminologi *Marshall Test* adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai pada kondisi kestabilan mulai menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kadar dan viskositas aspal, suhu, gradasi, dan jumlah pemadatan. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan *flow* yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga tak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal, atau kandungan aspal yang terlalu rendah sehingga berpotensi retak dini dan durabilitas rendah.

II.7.3 VIM (Rongga Dalam Campuran)

Rongga udara dalam campuran atau (Void in Mix) dalam campuran perkerasan aspal pada umumnya terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Void in Mix selalu dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat. Untuk pengertian sekaligus penjelasan mengenai Void in Mix dapat diilustrasikan pada gambar berikut :



Gambar II.5 Ilustrasi VIM

Void In Mix atau digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran serta ketidak seragaman bentuk agregat. Rongga udara merupakan indikator durabilitasnya campuran beraspal sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Rongga udara dalam campuran yang terlalu kecil dapat menimbulkan bleeding. Semakin kecil rongga udara maka campuran beraspal akan maki kedap terhadap air, tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal sehingga aspal menjadi rapuh dan getas. Semakin besar rongga udara dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan lebih cepat

II.7.4 VFA (Rongga Terisi Aspal)

Penjelasan umum mengenai rongga terisi campuran beraspal / VFA (Void in Filled with Asphalt) adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat Void in Mineral Agreggate (VMA) yang telah terisi aspal efektif dan dinyatakan dalam persen (*Puslitbang, 2000*).

II.7.5 VMA (Rongga Dalam Agregat)

Rongga dalam Agregat atau VMA adalah ruang diantara partikel agregat pada perkerasan aspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang terserap agregat) (*Puslitbang, 2000*).

II.7.6 Marshall Quotient

Menurut Bustaman (2000) menyatakan bahwa Marshall Quotient merupakan hasil bagi dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai Marshall Quotient yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras yang tinggi. Lapis keras yang mempunyai nilai Marshall Quotient terlalu tinggi akan mudah terjadi retakretak akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang. Sebaliknya nilai Marshall Quotient yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel (plastis) yang mengakibatkan lapis keras akan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas. Marshall Quotient (MQ) yaitu hasil bagi stabilitas dan flow, yang digunakan sebagai indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan. Nilai Marshall Quotient dinyatakan dalam kg/mm (*Hardiyatmo, H.C, 2007*).

II.8 Pencampuran Plastik Dengan Aspal Pada Perkerasan Jalan Raya

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh R.Vasudevan dkk, dengan judul : *A technique to dispose waste plastics in an ecofriendly way- Application in construction of flexible pavements* tahun 2011 di India.

Sampah plastik, yang merupakan limbah domestik dan industri di India telah diteliti untuk menjadi sumber bahan baku konstruksi aspal. Limbah plastik banyak ditemui dalam bentuk PE, PP dan PS, dimana titik *softening*-nya bervariasi antara 110° C dan 140° C. Selama proses *softening* tidak menghasilkan gas (beracun). Plastik hasil *softening* akan membentuk film di atas agregat (batu/kerikil), dengan teknik menyemprotkan di atas agregat panas pada suhu 160° C. PCA (*Plastics Coated Agregate*) memiliki kualitas dan ketahanan yang lebih baik dari pada aspal pada umumnya. PCA kemudian diteliti dengan berbagai macam pencampuran jenis plastik yang kemudian dilapisi bitumen 80/100 dengan proses *HOT MIXED* pada suhu 160 °C seperti pada **Tabel 2.5** dibawah ini :

Type of plastic	Percentage of plastics	Bending strength in kg	Compression strength (tonnes)
PE	10	325	250
	20	340	270
	25	350	290
Poly propylene	10	350	280
	20	370	290
	25	385	310
PS	10	200	155
	20	210	165
	25	215	170
PE foam	10	310	250
	20	325	265
	25	335	290
PP foam	10	340	270
	20	360	290
	25	365	310
Laminated plastics	10	360	290
	20	385	310
	25	400	335
BOPP	10	380	300
	20	400	310
	25	410	330

Tabel II.6 Pengaruh Persentase Penambahan Plastik Terhadap Uji Kuat Tekan Pada PCA.

Pada persentase penambahan plastik didalam agregat dan bitumen, ketahanan terhadap uji bengkok dan kompresi semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah plastik hasil *softening*. Melalui *final test Marshall Stability* dari salah satu sampel yang dibuat menunjukkan rentang nilai terbaik pada 18-20 kN. Peningkatan kekuatan terhadap beban awal bertambah 100% dan tidak terdapat celah agar air dapat menembus pori PCA. Diharapkan studi penelitian ini dapat dijadikan landasan teori dasar untuk mengembangkan penelitian sejenis di masa yang akan datang. Mengenai proses yang lebih efisien dan memungkinkan untuk diterapkan dalam skala yang lebih besar (*bulk waste plastics*).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri dan Laboratorium Bahan Jalan, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Teknik Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada bulan Juni sampai bulan Februari 2017.

III.2 Variabel Penelitian

III.2.1 Konsentrasi Pencampuran

Jenis plastik HDPE dan PP (perbandingan massa)

1. 100:0
2. 50:50
3. 0:100

III.2.2 Konsentrasi pencampuran plastik dengan aspal (bitumen) : 5%, 7%, 9% (persen massa)

III.3 Bahan dan Alat Penelitian

III.3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Limbah plastik gelas air mineral (PP) dan plastik wadah deterjen atau sejenis (Jenis HDPE).
2. AC bitumen penetrasi 60/70 diperoleh dari laboratorium Bahan Jalan Departemen Infrastruktur Sipil/FTV/ITS.
3. Agregat kasar, medium, halus diperoleh dari Bahan Jalan Departemen Infrastruktur Sipil/FTV/ITS.
4. Filler (Semen Portland)

III.3.2 Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Size reduction tools
- b. Gelas Beker
- c. Kompor elektrik
- d. Spatula
- e. Satu set saringan (Sieve) : digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat
- f. Alat uji aspal : digunakan untuk pemeriksaan aspal, antara lain :
 - Alat uji penetrasi
 - Alat uji kehilangan berat
 - Alat uji daktilitas
 - Alat uji berat jenis, meliputi : piknometer dan timbangan
- g. Alat uji agregat : digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain :
 - Mesin Los Angeles (tes abrasi)
 - Alat pengering
 - Timbangan berat, meliputi : piknometer, timbangan, dan pemanas
- h. Alat uji karakteristik Marshall : alat uji yang digunakan yaitu seperangkat alat untuk metode Marshall antara lain :
 - Alat tekan Marshall yaitu kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji kapasitas (5000 lbs) yang telah dilengkapi arloji pengukur flow meter.
 - Alat cetak benda uji bentuk silindir, dengan dimensi diameter 4 inchi dan tinggi 3 inchi.
 - Marshall automatic compactor, untuk pemadatan campuran
 - Ejector, untuk mengeluarkan benda uji setelah pemadatan
 - Bak perendam

- Alat penunjang meliputi wajan penggorengan, kompor pemanas, termometer, sendok/pengaduk, sarung tangan, kain lap, timbangan, ember, jangka sorong atau penggaris, cat atau tipe-x untuk menandai benda uji

III.4 Tahapan Metodologi Penelitian

Tahapan metodologi penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Tahapan Persiapan

Mengenai tahap persiapan yang perlu dilakukan yaitu menyiapkan bahan, alat-alat yang digunakan.

2. Pemeriksaan Bahan

- Aspal penetrasi 60/70

Dilakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, serta kehilangan berat sesuai peraturan yang telah ada yaitu standar nasional Indonesia dan bina marga

- Agregat dan filler

Agregat dan filler sangat diperlukan sebagai bahan pengisi, meliputi agregat kasar dan agregat halus. Untuk memenuhi spesifikasi perlu dilakukan pengujian yang telah ditentukan

3. Perencanaan Campuran

Untuk memperoleh campuran yang ideal dan kemampuan yang optimal maka diperlukan perencanaan campuran yang memenuhi spesifikasi, antara lain :

- Gradasi campuran agregat yang digunakan adalah campuran Asphalt Concrete. Perencanaan campuran aspal AC sesuai dengan Bina Marga 2010.
- Menentukan dan menganalisa komposisi yang ideal dan memenuhi persyaratan Bina Marga.
- Setelah ditentukan dan didapat komposisi masing – masing agregat, dilakukan proses mengayak

agregat sesuai dengan nomor saringan yang dibutuhkan.

4. Persiapan bahan baku limbah plastik
 - Bahan plastik direduksi ukurannya menjadi maksimum 0,5 cm x 0,5 cm.
 - Pencampuran bahan plastik ditimbang sesuai variabel yang ditentukan (Mix Plastics) berdasarkan persen massa terhadap konsentrasi aspal.
 - Campuran variabel plastik disiapkan untuk dipanaskan dalam aspal panas pada rentang suhu $\pm 170^{\circ}\text{--}200^{\circ}\text{ C}$ (Proses Softening).
5. Pembuatan benda uji
 - Menimbang agregat sesuai dengan berat persentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak yang dibutuhkan dengan masing-masing variasi kadar aspal.
 - Memanaskan aspal pada rentang suhu $\pm 170^{\circ}\text{--}200^{\circ}\text{ C}$, kemudian dilakukan penambahan plastik sesuai variabel.
 - Mencampurkan campuran aspal dan plastik dengan agregat. Agar suhu aspal tetap terjaga (konstan) maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata. Suhu pencampuran agregat dengan aspal, plastik pada suhu 180° C dan pemadatan suhunya berkisar antara 150° C .
 - Kemudian melakukan pemadatan standar dengan alat Marshall Automatic Compactor dengan jumlah tumbukan sebanyak 75 kali.
 - Benda uji didiamkan supaya suhunya turun, setelah itu benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode dengan menggunakan penanda.
 - Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.

- Benda uji direndam dalam air selama ± 24 jam supaya jenuh.

- Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.

- Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (saturated surface dry), kemudian ditimbang.

6. Pengujian dengan alat Marshall

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan ketahanan (stabilitas) dan kelelahan (flow) dari campuran aspal sesuai SNI 06-2489-1991. Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat Marshall :

- Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.

- Benda uji dikeluarkan dari bak perendam (Water Bath), letakkan benda uji tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat di tengah alat pembebanan, arloji kelelahan (flow meter) dipasang pada dudukan diatas salah satu batang penuntun.

- Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.

- Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap, dibaca pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali menurun, itu merupakan nilai stabilitas Marshall.

7. Menghitung berdasarkan paramater Marshall

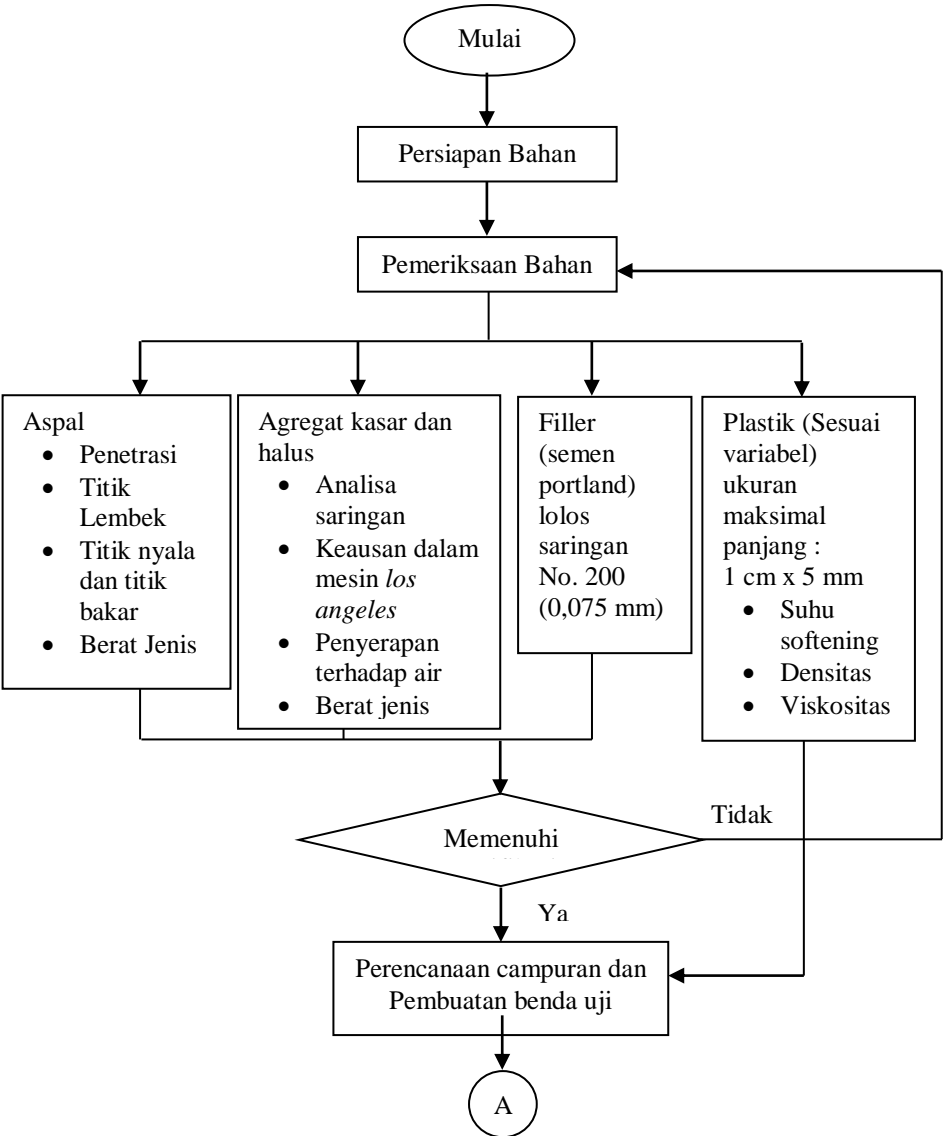
Setelah pengujian Marshall selesai serta nilai stabilitas dan flow didapat, selanjutnya menghitung parameter Marshall yaitu VIM, VMA, dan parameter lainnya sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran.

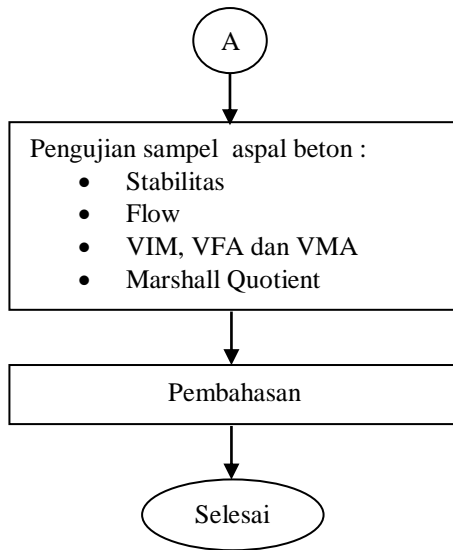
8. Pengolahan dan pembahasan hasil

Hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, yaitu gambar grafik hubungan antara:

- Kadar aspal terhadap stabilitas
- Kadar aspal terhadap flow
- Kadar aspal terhadap VIM
- Kadar aspal terhadap VFA
- Kadar aspal terhadap VMA
- Kadar aspal terhadap Marshall Quotient (MQ)

III.5 Diagram Alir Percobaan





III.6 Analisis Hasil

Pemeriksaan yang dilaksanakan pada penelitian ini, meliputi pemeriksaan terhadap campuran plastik, agregat kasar, agregat halus, filler dan produk aspal (marshall). Tujuan pemeriksaan bahan ini menjadi salah satu faktor kestabilan konstruksi perkerasan agar dapat terpenuhi. Pemeriksaan material yang meliputi agregat kasar, agregat halus maupun aspal mengacu pada standar SNI dan AASHTO. Spesifikasi pengujian dapat dilihat secara lengkap di bawah ini.

III.6.1 Pengujian Agregat Kasar dan Halus

III.6.1.1 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar untuk perencanaan ini adalah agregat yang lolos saringan 3/4" dan tertahan di atas saringan 2,36 mm atau saringan no.8. Agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran nominal. Sedangkan menurut SNI (1990, 1991) dan Sukirman (2003) ketentuan pengujian bahan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel III.1 di bawah ini.

Tabel III.1 Spesifikasi pengujian bahan agregat kasar

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	Agregat Kasar				
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990	-		
2	Berat jenis	SNI 03-1969-1990	gr/cc	2,5	-
3	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	%	-	3
4	Kadar air	SNI 03-1971-1990	%	-	-
5	Keausan agregat (<i>abrasasi</i>)	SNI 03-2417-1991	%	-	40

III.6.1.2 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus dari masing-masing sumber harus terdiri atas pasir alam atau hasil pemecah batu yang lolos saringan no. 8 dan tertahan di atas saringan no. 200. Agregat halus hasil pemecahan dan pasir alam harus ditimbun dalam cadangan terpisah dari agregat kasar di atas serta dilindungi terhadap hujan dan pengaruh air. Material tersebut harus merupakan bahan bersih, keras bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Menurut SNI (1990), AASHTO (1974) dan Sukirman (2003) ketentuan tentang agregat halus terdapat pada Tabel III.2 di bawah ini.

Tabel III.2 Spesifikasi pengujian bahan agregat halus

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	Agregat Halus				
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990	-		
2	Berat jenis	SNI 03-1969-1990	gr/cc	2,5	-
3	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	%	-	3
4	Kadar air	SNI 03-1971-1990	%	-	-

III.6.2 Pengujian Filler

Filler atau Bahan pengisi harus lolos saringan no. 200. Sebaiknya filler juga harus bebas dari semua bahan yang tidak dikehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan. Bahan pengisi yang diuji pada penelitian ini adalah abu batu. Menurut SNI (1994), AASHTO (1981) dan Sukirman (2003) ketentuan tentang filler dapat dilihat pada Tabel III.3 di bawah ini:

Tabel III.3 Spesifikasi pengujian bahan filler

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	<i>Filler</i>				
1	Material yang lolos saringan No. 200	SK SNI M-02-1994-03	%	70	-
2	Berat Jenis	AASHTO T-85 - 81	gr/cc	-	-

III.6.3 Pengujian Aspal

Metode penelitian/pengujian aspal sesuai spesifikasi yang mengacu pada SNI (1991) dan Sukirman (2003) dengan ketentuan pada Tabel III.4 dibawah ini.

Tabel III.4 Spesifikasi pengujian bahan aspal AC 60/70

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	Aspal				
1	Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	0,1 mm	60	79
2	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	°C	48	58
3	Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	°C	200	-
4	Titik Bakar	SNI 06-2433-1991	°C	-	-
No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
5	Berat Jenis	PA 0307 76	gr/cc	1	-

III.6.4 Pengujian Parameter Marshall

Metode penelitian/pengujian aspal sesuai spesifikasi yang mengacu pada SNI (1991) :

Tabel III.5 Spesifikasi Uji Parameter Marshall

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
	Aspal LASTON			Min.	Maks.
1.	Stabilitas	SNI 06-2489-1991	Kg	1000	-
2.	Flow	SNI 06-2489-1991	mm	3	-
3.	VIM	SNI 03-6893-2002	%	3	5,5
4.	VFA	SNI 03-6893-2002	%	65	-
5.	VMA	SNI 03-6893-2002	%	15	-
6.	Marshall Quotient	SNI 06-2489-1991	Kg/mm	300	-

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Penentuan Kisaran Suhu Leleh Plastik

Titik softening (titik lebur) merupakan titik pertama dimana plastik mengalami proses pelunakan. Di dalam proses pelunakan, ikatan kimia pada plastik (*inter molecular bending*) akan mudah lepas. Sesuai Vasudevan pada tahun 2011 menyebutkan bahwa pencampuran plastik ke dalam bitumen atau agregat dilakukan diatas titik *softening* plastik, namun tetap dibawah kisaran suhu dekomposisi plastik. Adapun dalam penentuan kisaran suhu leleh plastik di dalam penelitian ini akan digunakan sebagai acuan suhu pencampuran bitumen panas dengan plastik. Pada kandungan aspal terdapat struktur molekul aromatik. Aromatik adalah unsur pelarut aspalten yang paling dominan di dalam aspal. Aromatik terdiri dari rantai karbon yang bersifat non-polar yang didominasi oleh unsur tak jenuh dan memiliki daya larut yang tinggi terhadap molekul hidrokarbon dalam hal ini adalah plastik.

Penentuan kisaran suhu leleh plastik, dilakukan melalui pendekatan perhitungan densitas dan viskositas plastik pada suhu diatas titik leburnya dan tekanan atmosfer. Persamaan *tait* digunakan dalam melakukan pendekatan perhitungan densitas plastik.

$$V(P,T) = V(0,T) \{1-C \ln [1+P/B(T)]\} \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana ; $V(P,T)$ = Volume molar

C = Konstanta umum untuk polimer (0,0894)

$V(0,T)$ = Kondisi tidak bertekanan, isothermis (cm^3/g^b)

$B(T)$ = Koevisien Virial (bar)

T = Suhu ($^{\circ}\text{C}$)

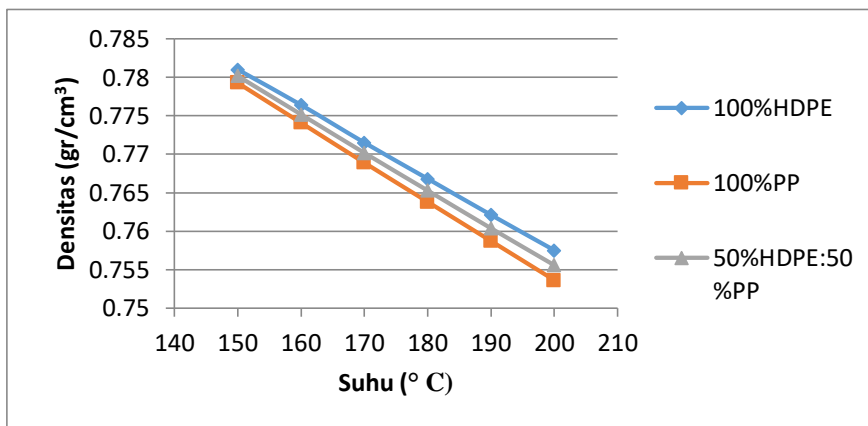
Tabel 4.1 Parameter Persamaan Tait untuk Polimer Cair
Jenis HDPE dan PP (*Patrick A. Rodgers*)

Jenis Polimer	$V(0,t)$	$B(t)$
HDPE	$1,1595 + 8,0394 \times 10^{-4} t$	$1799 \exp(-4,739 \times 10^{-3} t)$
PP	$1,1606 \exp(6,700 \times 10^{-4} t)$	$1491 \exp(-4,177 \times 10^{-3} t)$

Dari persamaan (4.1), Penentuan harga densitas dapat dihitung dengan persamaan (4.2) :

$$\text{Densitas } (p) = \frac{1}{V(P.T)} \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

Didapatkan data hasil perhitungan densitas plastik pada kisaran suhu 150 –200°C melalui substitusi nilai suhu (T) sesuai dengan persamaan (4.1) :



Grafik 4.1 Hasil Perhitungan Densitas Plastik Jenis HDPE dan PP Cair Rentang Suhu 150–200 °C Sesuai Parameter Tait.

Dari grafik 4.1 terlihat bahwa dengan bertambahnya suhu, maka densitas semakin berkurang. Terlihat juga bahwa jenis plastik HDPE nilai densitasnya lebih besar dibandingkan dengan jenis plastik campuran HDPE dan PP ataupun plastik PP. Nilai densitas dari grafik diatas dirangkum dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Densitas Plastik Jenis HDPE dan PP Cair Sesuai Parameter Tait.

Perbandingan campura massa plastik (HDPE :PP)	Densitas					
	gr/cm ³					
	150°C	160°C	170°C	180°C	190°C	200°C
100 : 0	0,781	0,7764	0,7715	0,7668	0,7621	0,7575
50 : 50	0,7802	0,7752	0,7702	0,7653	0,7604	0,7556
0 : 100	0,7793	0,7741	0,7689	0,7638	0,7587	0,7587

Data densitas pada Tabel 4.2 kemudian akan menjadi acuan dalam penentuan nilai viskositas plastik. Menurut Pudiastuti dan Pratiwi, kisaran nilai viskositas plastik pada suhu tinggi dan tekanan atmosfer dapat diketahui melalui perbandingan data densitas plastik dengan data densitas pembanding dalam hal ini minyak tanah (*kerosene*), seperti yang sudah dijelaskan di bab kedua. Namun untuk mencari waktu alir dari plastik pada suhu tinggi sangat sulit dilakukan, karena keterbatasan alat. Dari persamaan viskositas, diketahui bahwa viskositas berbanding lurus dengan densitas, maka dapat diperkirakan bahwa dari semua jenis plastik yang akan digunakan, semakin bertambahnya suhu maka semakin rendah nilai viskositasnya, dilihat dari nilai densitas yang juga menurun seiring naiknya temperatur. Dari ketiga jenis plastik yang digunakan plastik dengan viskositas terendah adalah PP. Kedua sifat fisik ini dimungkinkan akan

mempengaruhi sifat fisik dari aspal beton, yang akan berpengaruh pada salah satu uji yang dilakukan.

Pada percobaan pencampuran plastik terhadap bitumen panas yang mengacu pada perhitungan parameter *tait* diatas, didapat suhu pencampuran optimum (homogen) tiap-tiap variabel plastik sebagai berikut :

No.	Variabel plastic	Rentang Suhu Pencampuran Optimum
1.	<i>Polypropylene (PP)</i>	160-170 °C
2.	<i>HDPE</i>	190-200 °C
3.	Campuran <i>PP</i> dan <i>HDPE</i>	180-190 °C

IV.2 Perencanaan Kadar Aspal Optimum (KAO) Aspal

IV.2.1 Analisa Saringan

Analisa saringan umumnya bertujuan untuk menentukan pembagian/gradasi butiran agregat, meliputi agregat kasar, medium, halus, dan filler. Jika gradasi agregat mempunyai ukuran yang seragam, maka terbentuk volume pori besar. Namun jika ukuran butiran bervariasi akan terbentuk volume pori kecil. Dikarenakan butiran yang ukurannya lebih kecil akan mengisi rongga yang terbentuk diantara pori yang besar, sehingga rongga pori aspal akan menjadi berkurang atau kemampuan semakin rapat. Berikut tabel 4.3 mengenai perencanaan analisa saringan :

Tabel 4.3 Analisa Saringan Agregat Kasar (10-10 mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	1596,4	1596,5	71,43	28,57
3/8"	411,0	2007,5	89,92	10,18
No. 4	56,5	2064,0	92,35	7,65
No. 8	-	-	-	-
No. 16	-	-	-	-
No. 30	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-
Berat sampel :		2235 gram		

Tabel 4.4 Analisa Saringan Agregat Sedang (5-10 mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	10,0	10,0	0,42	99,58
3/8"	30,5	40,5	1,72	98,28
No. 4	1193,0	1233,5	52,41	47,59
No. 8	916,0	2149,5	91,33	8,67
No. 16	45,0	2194,5	93,24	6,76
No. 30	5,5	2200,0	93,48	6,52
No. 50	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-
Berat sampel :		2353,5 gram		

Tabel 4.5 Analisa Saringan Agregat Halus (0-5 mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	10,0	10,0	0,45	99,55
No. 4	42,5	52,5	2,35	97,65
No. 8	362,5	415,0	18,60	81,40
No. 16	877,0	1292,0	57,91	42,09
No. 30	305,0	1597,0	71,58	28,42
No. 50	152,0	1749,0	78,40	21,60
No. 100	234,0	1983,0	88,88	11,12
No. 200	75	2085,0	92,25	7,75
Berat sampel :		2231 gram		

Tabel 4.6 Analisa Saringan Filler (Semen Portland)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 4	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 8	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 16	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 30	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 50	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 100	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 200	0,0	0,0	0,0	100,0
Berat sampel :		1450 gram		

IV.2.2 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat dan Uji Pemeriksaan Aspal

IV.2.2.1 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pengujian bahan yang digunakan pada campuran lapis aspal beton dengan pen. 60/70, berdasarkan hasil uji laboratorium didapat hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4.8 sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hasil Uji Sifat Fisik Agregat

No.	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
Agregat kasar (10-10mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	1,69 %	memenuhi
2.	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,48 %	memenuhi
3.	Keausan	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	23,65 %	memenuhi
Agregat Medium (5-10mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,64 %	memenuhi
2.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,56 %	memenuhi
Agregat Halus (0-5mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,49 %	memenuhi
2.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,51 %	memenuhi
Filler (Semen Portland)					
1.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,70	memenuhi

IV.2.2.2 Uji Pemeriksaan Aspal

Hasil pengujian bahan aspal yang digunakan untuk campuran pada penelitian ini yaitu aspal AC pen. 60/70, didapat hasil sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.9 sebagai berikut :

Tabel 4.8 Hasil Pemeriksaan Uji Aspal

No.	Pengujian	Metode	Syarat		Hasil
			Min.	Max	
1.	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60	79	70,08
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	56
3.	Titik Nyala	SNI 06-2434-1991	200	0	210
4.	Daktilitas	SNI 06-2434-1991	100	-	125
5.	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,038
6.	Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1	-	1,029

IV.2.3 Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan

Perencanaan campuran dengan menggunakan metode yang ditetapkan oleh Bina Marga dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi. Pencampuran agregat yang tersedia dibuat menjadi beberapa variasi agar dapat memenuhi syarat berdasarkan parameter *Marshall*. Pada penelitian ini digunakan penggabungan 4 fraksi agregat dengan cara analitis yaitu penentuan komposisi berdasarkan trial & error.

Proses penggabungan gradasi agregat (*combined aggregate*), meliputi agregat kasar, agregat medium, agregat halus, dan filler. Berikut cara dan tahapan penggabungan gradasi melalui persamaan 4.4 dengan cara analitis :

$$P = a.A + b.B + c.C + d.D \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana;

P = Persen lolos saringan dengan ukuran (mm) yang diinginkan

A = Persen lolos saringan fraksi agregat kasar ukuran d = ... mm

B = Persen lolos saringan fraksi agregat medium ukuran d = ...mm

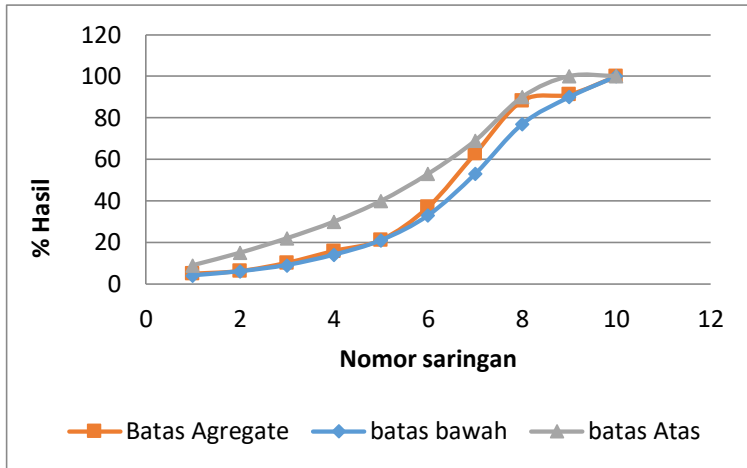
C = Persen lolos saringan fraksi agregat halus ukuran d = ... mm

D = Persen lolos saringan fraksi agregat filler ukuran d = ... mm

Untuk persentase nilai a , b , c diperoleh dari perhitungan grafis sesuai dengan spesifikasi yang diatur pada peraturan Bina Marga 2010 mengenai batas agregat campuran AC WC. Berikut tabel 4.10 mengenai persentase penggabungan agregat (*combined aggregate*) :

Tabel 4.9 Hasil Gabungan (*Combined Aggregate*) 4 Fraksi

Saringan		CA 10 - 20 mm		CA 10 - 10 mm		MA 5 - 10 mm		Abu Batu (FA) 0-5 mm		Filler		HASIL	SPECIFIKASI
No.	Ukuran	% LOLOS	0	% LOLOS	12	% LOLOS	48	% LOLOS	38	% LOLOS	2		AC-WC
10	3/4"	0,00	0	100	12	100	48	100	38	100	2	100	100
9	1/2"	0,00	0	28,57	3,42	99,58	47,79	100	38	100	2	91	90-100
8	3/8"	0,00	0	10,18	1,22	98,28	47,17	99,55	37,82	100	2	88	77-90
7	No.4	0,00	0	7,65	0,91	47,59	22,84	97,65	37,10	100	2	63	53-69
6	No.8	0,0	0	0	0	8,67	4,16	81,40	30,93	100	2	37	33-53
5	No.16	0,0	0	0	0	6,76	3,2448	42,09	15,9942	100	2	21	21-40
4	No.30	0,0	0	0	0	6,52	3,1296	28,42	10,7996	100	2	16	14-30
3	No.50	0,0	0	0	0	0,00	0	21,60	8,208	100	2	10	9-22
2	No.100	0,0	0	0	0	0,00	0	11,12	4,2256	100	2	6	6-15
1	No.200	0,0	0	0	0	0,00	0	7,75	2,945	100	2	5	4-9



Grafik 4.2 *Combined Agregate 4 fraksi*

Hasil yang didapatkan berdasarkan perhitungan *combined aggregate* pada grafik 4.2 menunjukkan bahwa batas agregat sesuai di dalam spesifikasi AC-WC dengan persentase 12% untuk agregat kasar, 48% agregat sedang, 38% agregat halus, dan 2% Filler.

IV.2.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum / Teoritis

Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) telah diatur pada peraturan Bina Marga 2010 dengan persamaan 4.5 sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta} \dots (4.5)$$

Dimana;

Pb = Kadar aspal optimum gradasi (%)

CA , FA, FF = Masing-masing sebagai nilai fraksi butiran kasar, sedang dan halus (%)

- Nilai fraksi butiran didapat :

kasar = $100 - 37,09 \%$

= **62,91 %**

sedang = $37,09 - 4,95 \%$

= **32,15 %**

halus = **4,95 %**

Total = $62,91 + 32,15 + 4,95 = 100 \%$

- Perkiraan aspal terpakai secara gradasi :

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035 (\% \text{ CA}) + 0,045 (\% \text{ FA}) + 0,18 (\% \text{ FF}) + \text{Konstanta} \\ &= (0,035 \times 62,91) + (0,045 \times 32,15) + (0,18 \times 2) + 0,5 \\ &= 5,04 \% \end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai awal penyerapan aspal, dilakukan perhitungan nilai penyerapan air untuk setiap jenis agregat

$$\text{Agr. Kasar} = 0,12 \times 1,696 = 0,204$$

$$\text{Agr. Sedang} = 0,48 \times 1,642 = 0,788$$

$$\text{Agr. Halus} = 0,38 \times 1,497 = 0,569$$

$$\text{total} = 1,561$$

Maka, nilai penyerapan aspal didapat sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Aspal} &= \text{konstanta penyerapan aspal} \times 1,561 \\ &= 0,45 \times 1,561 \\ &= 0,702 \end{aligned}$$

$$\text{Kadar Aspal Optimum Teoritis / Rencana} = 0,702 + 5,04 = \mathbf{5,7 \%}$$

IV.2.5 Variasi Nilai Kadar Aspal Optimum Teoritis/ Rencana

Untuk menentukan kadar aspal yang akan dijadikan sebagai rencana dasar, terlebih dahulu dilakukan perhitungan mengenai besaran proporsi untuk masing – masing material bahan uji sampel aspal. Seperti berat aspal dan jenis agregat dengan total berat 1200 gram untuk tiap sampel, berikut Tabel 4.10 – Tabel 4.14 mengenai data perhitungan proporsi campuran bahan sesuai

appendiks A-2. Variasi campuran aspal dilakukan dengan rentang KAO 4,7%, 5,2%, 5,7%, 6,2%, 6,7%.

Tabel 4.10 Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 4,7 %

Kadar aspal optimum	:	4,70	%
Berat sampel	:	1200	Gr
Berat kadar aspal	:	56,40	Gr
Berat Filler 2%	:	434,57	Gr
Berat Agr. Halus 38%	:	548,93	Gr
Berat Agr. Sedang 48%	:	137,23	Gr
Berat Agr. Kasar 12%	:	22,87	Gr
<i>Total</i>		1200,00	Gr

Tabel 4.11 Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 5,2 %

Kadar aspal optimum	:	5,20	%
Berat sampel	:	1200	Gr
Berat kadar aspal	:	62,40	Gr
Berat Filler 2%	:	432,29	Gr
Berat Agr. Halus 38%	:	546,04	Gr
Berat Agr. Sedang 48%	:	136,51	Gr
Berat Agr. Kasar 12%	:	22,75	Gr
<i>Total</i>		1200,00	Gr

Tabel 4.12 Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 5,7 %

Kadar aspal optimum	:	5,70	%
Berat sampel	:	1200	Gr
Berat kadar aspal	:	68,40	Gr
Berat Filler 2%	:	430,01	Gr
Berat Agr. Halus 38%	:	543,16	Gr
Berat Agr. Sedang 48%	:	135,79	Gr
Berat Agr. Kasar 12%	:	22,63	Gr
Total		1200,00	Gr

Tabel 4.13 Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 6,2 %

Kadar aspal optimum	:	6,20	%
Berat sampel	:	1200	Gr
Berat kadar aspal	:	74,40	Gr
Berat Filler 2%	:	427,73	Gr
Berat Agr. Halus 38%	:	540,28	Gr
Berat Agr. Sedang 48%	:	135,07	Gr
Berat Agr. Kasar 12%	:	22,51	Gr
Total		1200,00	Gr

Tabel 4.14 Variasi Campuran Sampel Aspal KAO 6,2 %

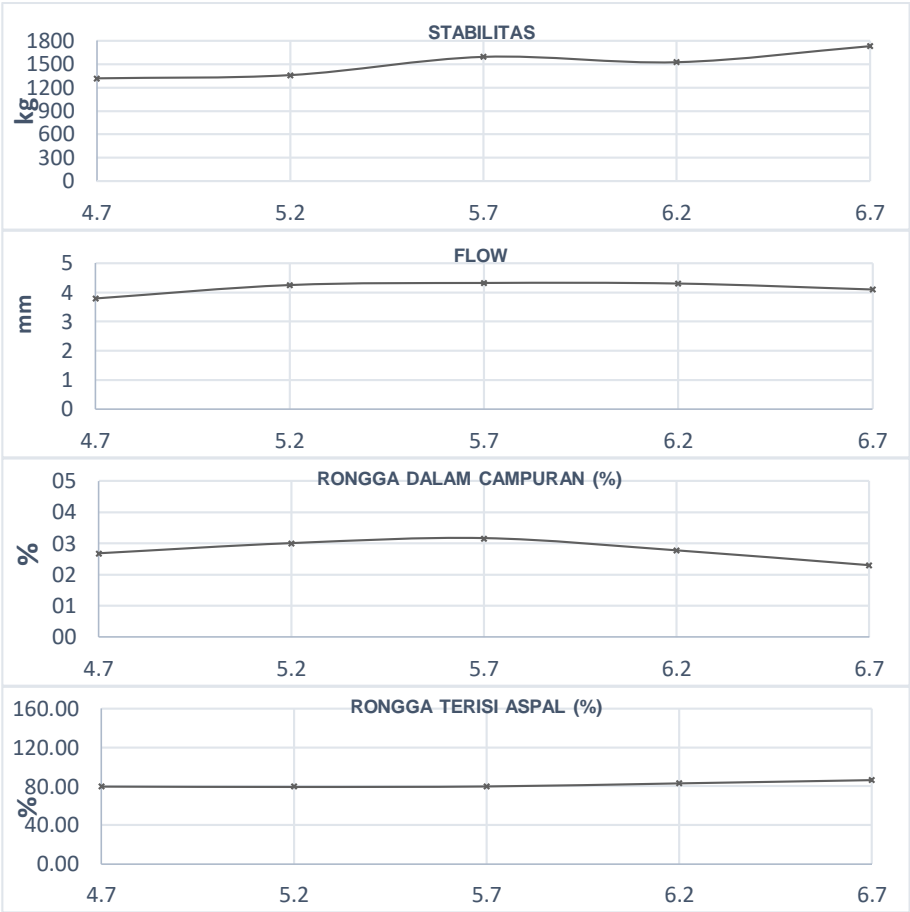
Kadar aspal optimum	:	6,70	%
Berat sampel	:	1200	Gr
Berat kadar aspal	:	80,40	Gr
Berat Filler 2%	:	425,45	Gr
Berat Agr. Halus 38%	:	537,41	Gr
Berat Agr. 48% Sedang	:	134,35	Gr
Berat Agr. Kasar 12%	:	22,39	Gr
Total		1200,00	Gr

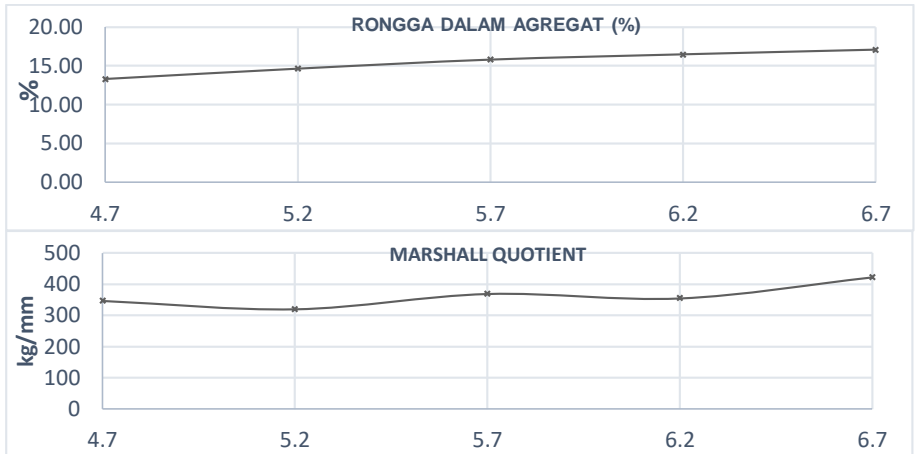
IV.2.6 Pengujian *Marshall* Kadar Aspal Rencana

Penambahan jumlah aspal yang digunakan dalam pembuatan jalan aspal beton sangat penting untuk memenuhi standar aspal jalan yang baik. Penentuan kadar aspal optimum (KAO) adalah salah satu langkah awal untuk mengetahui berapa jumlah aspal yang terbaik yang bisa ditambahkan. Penentuan berapa jumlah plastik yang ditambahkan juga bisa dilakukan setelah kadar aspal optimum diketahui. Penentuan KAO bisa diperkirakan secara teoritis dengan hitungan yang kemudian hasil dari perhitungan teoritis ini di jadikan rentang nilai penambahan aspal. Bahan yang digunakan untuk campuran beton aspal pada penelitian ini terdiri dari aspal AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) 60/70, agregat kasar, agregat halus dan filler dari abu batu.

Penentuan kadar aspal optimum harus memenuhi nilai karakteristik aspal yang sesuai persyaratan spesifikasi umum bina marga tahun 2010. Pengujian *Marshall* terhadap campuran beton aspal panas yaitu nilai stabilitas (*stability*), VMA (voids in

mineral aggregate), VFA (voids filled with asphalt), VIM (voids in the mixture), kelelahan (flow) dan *Marshall Quotient* (MQ) pada benda uji masing-masing kadar aspal satu buah benda uji. Variasi Kadar Aspal Optimum adalah 4,7%, 5,2%, 5,7%, 6,2%, dan 6,7%. Hasil pengujian parameter *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum seperti ditunjukkan pada Grafik 4.2 :





% Penambahan Kadar Aspal
Grafik 4.3 Hasil Uji Parameter Marshall

Tabel 4.15 Data Hasil Uji Parameter Marshall

Parameter Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		4,7	5,2	5,7	6,2	6,7
Stabilitas	>1000 Kg	1316	1356	1593	1524	1731
Flow	> 3 mm	3,8	4,25	4,32	4,3	4,1
VIM	3.0% -	2,7	3,01	3,17	2,78	2,31
VFA	> 65%	79,82	79,46	79,98	83,16	86,50
VMA	> 15%	13,31	14,64	15,81	16,50	17,10
MQ	>300	346,3	319,4	364,7	354,3	422,3

Tabel 4.16 Cara Pembacaan Data Hasil Uji Parameter *Marshall*

Parameter Marshall	Spesifikasi	Rentang	Kadar Aspal Optimum (KAO %)
STABILITAS	>1000 Kg	4,7 - 6,7	
FLOW	> 3 mm	4,7 - 6,7	
VIM	3.0 - 5.5%	4,7 - 6,7	
VMF	> 65%	4,7 - 6,7	
VMA	> 15%	5,2 - 6,7	
MQ	>250 kg/mm	4,7 - 6,2	
Kadar Aspal Rencana (Pb %)			4,7 5,2 5,7 6,2 6,7
Kadar Aspal Optimum (%)			5,7

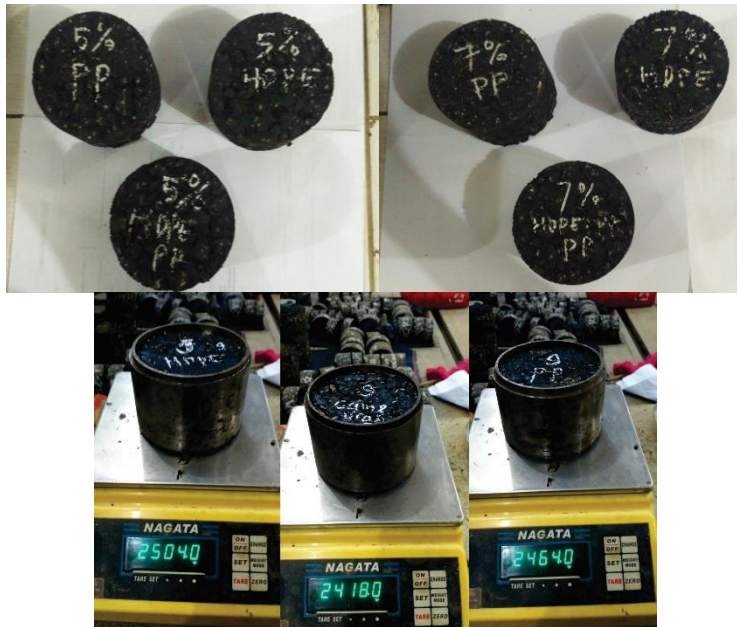
Dari rentang nilai penambahan aspal, terlihat bahwa tidak semua variabel penambahan aspal memenuhi standar spesifikasi umum bina marga tahun 2010. Penambahan kadar aspal dari 4,7-6,7% memenuhi standar untuk parameter stabilitas, flow, VFA (*voids filled with asphalt*), dan *Marshall Quotient* namun ada beberapa yang tidak memenuhi untuk parameter VIM (*voids in the mix*) dan VMA(*voids in mineral aggregate*). Hal ini terlihat pada penambahan aspal 4,7%; 6,2%; dan 6,7% tidak memenuhi standar parameter VIM (*voids in the mix*), sedangkan untuk parameter VMA (*voids in mineral aggregate*) kadar aspal 4,7% dan 5,2% tidak memenuhi standar. Dari hal tersebut kadar aspal optimum yang dapat kita gunakan adalah 5,7% karena memenuhi semua parameter uji *Marshall* aspal.

Penambahan aspal 5,7% ini akan menjadi acuan untuk pembuatan aspal beton terhadap substitusi plastik. Berat sampel aspal yang digunakan adalah 1200 gram, dengan komposisi 38% agregat halus, 48% agregat sedang, 12% agregat kasar, 2 % filler dan 5,7% aspal. Berat aspal yang ditambahkan dalam setiap sampel adalah sebesar 68,40 gram, dengan demikian dapat diketahui jumlah penambahan plastik (gram) yang disubstitusikan ke aspal untuk variabel 5%, 7%, dan 9% penambahan plastik. Perhitungan jumlah penambahan plastik dapat dilihat pada appendiks A.3 halaman A-2 .

Tabel 4.17 Jumlah Substitusi Plastik Terhadap Berat Aspal (gram)

Kadar Penambahan plastik (%)	Berat plastik (gram)	Berat aspal (gram)	Total (gram)
5	3,42	64,98	68,40
7	4,788	63,612	68,40
9	6,156	62,244	68,40

IV.3 Hasil Uji Parameter Marshall Pencampuran Plastik Terhadap Aspal



Gambar IV.1 Sampel Hasil Pencampuran Aspal Dengan Plastik

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, aspal memiliki standar spesifikasi mengikuti ketentuan standart umum ketentuan umum bina marga tahun 2010. Hasil pembuatan aspal beton dengan penambahan plastik kemudian dilakukan uji parameter Marshall dan diperoleh karakteristik campuran, yaitu stabilitas, kelelahan (flow), VIM, VFA, VMA dan *Marshall Quotient*. Uji paramater Marshall dilakukan di Laboratorium Bahan Jalan Departemen Infrastruktur Teknik Sipil ITS Surabaya. Hasil uji parameter Marshall dapat dilihat pada **Grafik 4.3.1-4.3.6**.

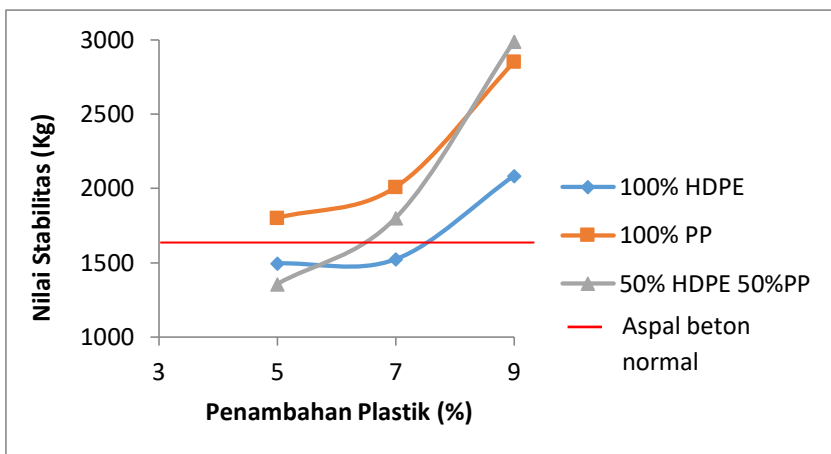
IV.3.1. Uji Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang dilewati. Jalan yang dilewati volume lalu lintas tinggi dan mayoritas kendaraan berat membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Uji stabilitas dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Marshall Stabilitas Tester*.

Tabel 4.18 Uji Stabilitas Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Variabel Benda Uji	Nilai Uji Stabilitas (kg)
Aspal Beton normal	1593
Penambahan 5% HDPE	1501,48
Penambahan 5% PP	1807,33
Penambahan 5% HDPE dan PP	1362,45
Penambahan 7% HDPE	1529,28
Penambahan 7% PP	2015,88
Penambahan 7% HDPE dan PP	1807,34
Penambahan 9% HDPE	2085,39
Penambahan 9% PP	2850,03
Penambahan 9% HDPE dan PP	2989,06

* Hasil uji dari laboratorium bahan jalan Departemen Infrastruktur Teknik Sipil ITS Surabaya



Grafik 4.4 Uji Stabilitas Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa dengan penambahan plastik pada substitusi aspal dapat meningkatkan stabilitas suatu campuran. Hasil penelitian menunjukkan harga stabilitas dari semua jenis tipe campuran penambahan plastik memenuhi syarat stabilitas spesifikasi Bina Marga, yaitu minimal 1000 kg. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik HDPE 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai stabilitas mengalami kenaikan signifikan sebesar 1501,48 kg, 1529,28 kg, 2085,39 kg. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik PP 5%, 7% dan 9% juga secara berturut-turut nilai stabilitas mengalami kenaikan signifikan sebesar 1807,33 kg, 2015,88 kg, 2850,03 kg. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik campuran HDPE dan PP 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut juga mengalami kenaikan nilai stabilitas sebesar 1362,45 kg, 1807,34 kg, 2989,06.

Nilai stabilitas merupakan salah satu faktor penting untuk penentuan nilai *Marshall Quotient*, dimana semakin besar nilai stabilitas yang didapat maka akan semakin besar pula nilai *Marshall Quotient*. Kenaikan stabilitas pada hasil pencampuran penambahan plastik terjadi karena daya ikatan yang diberikan plastik lebih tinggi daripada campuran aspal beton normal (tanpa penambahan plastik). Ikatan ini sangat berpengaruh pada saat perendaman selama 24 jam, aspal dengan pencampuran plastik akan menyerap lebih sedikit air karena permukaan dan rongga pada sampel terlapsi oleh plastik. Sebaliknya, aspal beton normal akan menyerap lebih banyak air saat perendaman dilakukan. Akibat penyerapan yang tinggi ini stabilitas aspal beton normal lebih rendah dibandingkan dengan stabilitas aspal beton dengan penambahan plastik.

Pada hasil uji yang telah didapat, nilai stabilitas aspal dengan penambahan berbagai variabel plastik PP memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi dari aspal penambahan plastik HDPE. Hal ini sesuai dengan teori yang telah kami dapatkan, dimana nilai *compressive strength* plastik PP sebesar 32 MPa/4700 psi lebih tinggi dibandingkan kekuatan *compressive strength* HDPE sebesar 31 MPa/3600 psi apabila dilakukan pencampuran antara plastik, aspal dengan agregat. Hal lain yang menyebabkan nilai stabilitas pada campuran aspal beton dengan penambahan PP terletak pada kemudahannya untuk melebur/ meleleh akibat perlakuan panas. Plastik PP akan meleleh sempurna jika dipanaskan pada rentang suhu 170-185 °C, hal ini terjadi karena struktur plastik PP yang linear sehingga mudah terpisah akibat perlakuan panas yang tinggi, kemudian plastik PP yang meleleh sempurna akan melapsi rongga dalam agregat sehingga air sukar untuk masuk ke rongga agregat. Nilai stabilitas sangat berpengaruh dengan jumlah air yang masuk kedalam rongga

agregat, penyerapan air yang tinggi oleh agregat menyebabkan nilai stabilitas rendah. Jika dibandingkan dengan plastik HDPE, susunan rantai HDPE lebih bercabang sehingga lebih sukar untuk terpisah akibat perlakuan panas. Hal ini sesuai saat proses eksperimen berlangsung, dimana plastik HDPE masih belum meleleh sempurna meski dipanaskan hingga suhu 200 °C. Akibatnya, proses pelapisan plastik HDPE terhadap agregat tidak sempurna.

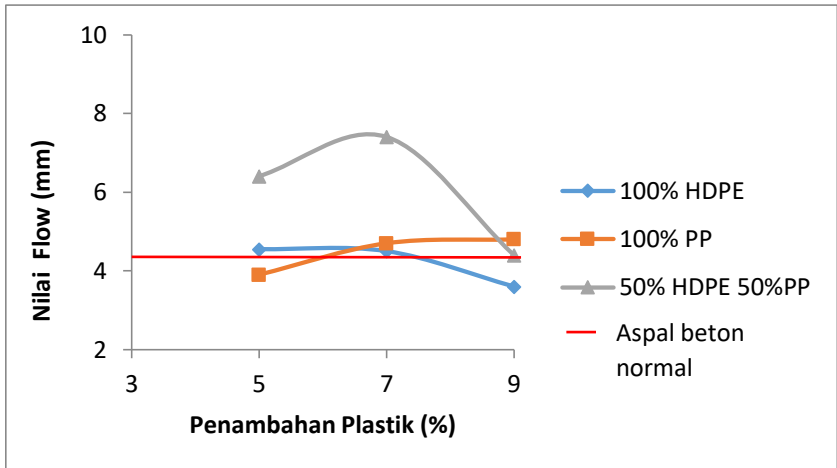
IV.3.2 Uji Flow (Kelelehan)

Ketahanan terhadap kelelehan (*flow*) merupakan kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelehan berupa alur dan retak.

Tabel 4.19 Uji Flow (Kelelehan) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Variabel Benda Uji	Nilai Uji Flow (mm)
Aspal Beton normal	4,3
Penambahan 5% HDPE	4,55
Penambahan 5% PP	3,9
Penambahan 5% HDPE dan PP	6,4
Penambahan 7% HDPE	4,5
Penambahan 7% PP	4,7
Penambahan 7% HDPE dan PP	7,4
Penambahan 9% HDPE	3,6
Penambahan 9% PP	4,8
Penambahan 9% HDPE dan PP	4,4

* Hasil uji dari laboratorium bahan jalan Departemen Infrastruktur Teknik Sipil ITS Surabaya



Grafik 4.5 Uji Flow (Kelelehan) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa dengan penambahan plastik pada substitusi aspal dapat menurunkan nilai *flow* suatu campuran. Hasil penelitian menunjukkan harga *flow* dari semua jenis tipe campuran penambahan plastik memenuhi syarat *Flow* spesifikasi Bina Marga, yaitu minimal 3 mm. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik HDPE 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai *flow* mengalami penurunan sebesar 4,55 mm, 4,5 mm, 3,6 mm. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik PP 5%, 7% dan 9% juga secara berturut-turut nilai *flow* sebesar 3,9 mm, 4,9 mm, 4,8 mm mengalami kenaikan nilai *flow*. Sedangkan pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik campuran HDPE dan PP 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai *flow* mengalami kenaikan pada konsentrasi 7% kemudian turun signifikan pada konsentrasi 9% sebesar 6,4 mm, 7,4 mm, 4,4 mm. Nilai *flow* juga merupakan

salah satu faktor penting untuk penentuan nilai *Marshall Quotient*, dimana semakin kecil nilai *flow* yang didapat maka akan semakin besar pula nilai *Marshall Quotient*.

Pada eksperimen yang telah dilakukan, nilai *flow* pada aspal beton dengan penambahan campuran HDPE 5 % dan 7 % memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi dibandingkan aspal beton normal, namun pada penambahan 9 % plastik HDPE pada aspal beton didapatkan nilai *flow* yang lebih rendah dari pada aspal beton normal. Penurunan nilai *flow* seiring penambahan konsentrasi plastik HDPE disebabkan oleh sifat kekuatan keregangan dan daya elastisitas HDPE yang rendah. Menurut WS. Hampshire Inc, nilai keregangan dan daya elastisitas HDPE berturut-turut sebesar 4600 psi dan 50-100 %. Dengan semakin bertambahnya konsentrasi HDPE pada pencampuran aspal beton, maka nilai *flow* akan semakin turun.

Sebaliknya, nilai *flow* pada aspal beton dengan penambahan campuran PP konsentrasi 5 % memiliki nilai *flow* yang lebih rendah dari aspal beton normal, namun seiring penambahan konsentrasi 7% dan 9% plastik PP didapatkan nilai *flow* yang lebih tinggi dari pada aspal beton normal. Hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa untuk semua nilai *flow* aspal beton dengan penambahan plastik PP selalu lebih tinggi dibandingkan nilai *flow* pada aspal beton dengan penambahan plastik HDPE. Hal ini terjadi karena nilai kekuatan keregangan dan daya elastisitas PP yang tinggi. Menurut Demirel, nilai keregangan dan daya elastisitas PP berturut-turut sebesar 6000 psi dan 50-150 %. Dengan semakin bertambahnya konsentrasi PP pada pencampuran aspal beton, maka nilai *flow* akan semakin naik.

Pada aspal beton dengan penambahan campuran HDPE : PP konsentrasi 5 % dan 7 %, nilai *flow* menjadi sangat tinggi sehingga dikhawatirkan akan menyebabkan bleeding apabila diterapkan pada aspal jalan. Sebaliknya, pada penambahan campuran HDPE : PP konsentrasi 9 % nilai *flow* turun menjadi 4,4 mm. Nilai *flow* pada konsentrasi ini masuk dalam rentang konsentrasi *flow* aspal penambahan plastik HDPE atau PP 9%. Sehingga, eksperimen pada percobaan penambahan plastik campuran HDPE dan PP 9% sesuai dengan teori yang telah dijelaskan diatas, dimana terjadi campuran sifat plastik HDPE dan PP pada pencampuran aspal beton.

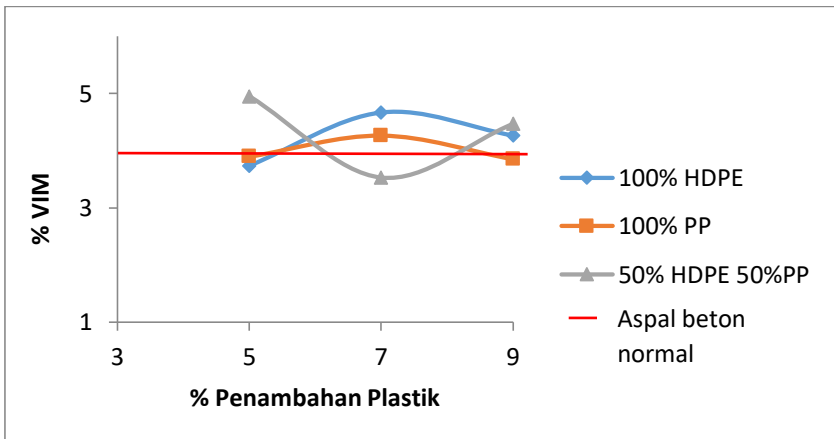
IV.3.3 Uji VIM (Rongga dalam Campuran)

Rongga udara dalam campuran atau VIM dalam campuran perkerasan aspal lapis beton terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat.

Tabel 4.20 Uji VIM (Rongga dalam Campuran) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Variabel Benda Uji	Nilai Uji VIM (%)
Aspal Beton normal	3,17
Penambahan 5% HDPE	3,7
Penambahan 5% PP	3,90
Penambahan 5% HDPE dan PP	4,95
Penambahan 7% HDPE	4,67
Penambahan 7% PP	4,26
Penambahan 7% HDPE dan PP	3,53
Penambahan 9% HDPE	4,26
Penambahan 9% PP	3,85
Penambahan 9% HDPE dan PP	4,47

* Hasil uji dari laboratorium bahan jalan Departemen Infrastruktur Teknik Sipil ITS Surabaya



Grafik 4.6 Uji VIM (Rongga dalam Campuran) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

VIM adalah volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan. Grafik 4.6 menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik pada substitusi aspal dapat mempengaruhi nilai VIM suatu campuran. Hasil uji menunjukkan harga VIM dari semua jenis tipe campuran penambahan plastik memenuhi syarat VIM spesifikasi Bina Marga, yaitu antara 3-5,5 %. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik HDPE 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai VIM mengalami tren kenaikan sebesar 3,7 %, 4,67 %, 4,26 %. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik PP 5%, 7% dan 9% juga secara berturut-turut nilai VIM sebesar 3,9 %, 4,26 %, 3,85 % mengalami tren penurunan meski pada konsentrasi 7% mengalami kenaikan nilai VIM. Sedangkan pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik campuran HDPE dan PP 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai VIM mengalami tren penurunan sebesar 4,95 %, 3,53 %, 4,47 %.

Data Eksperimen pada tabel 4.19 menunjukkan bahwa nilai VIM aspal beton normal selalu lebih rendah dari pada aspal beton dengan penambahan plastik. Hal ini terjadi karena saat proses pencampuran plastik terhadap aspal cair, mengakibatkan kondisi aspal semakin mengental/ pekat. Akibatnya, penyerapan aspal-plastik terhadap rongga antar agregat lebih sedikit dibandingkan aspal normal. Meskipun terjadi kenaikan nilai VIM, hal ini masih dalam rentang spesifikasi yang ditetapkan oleh bina marga tahun 2010.

Penambahan kadar aspal pada jenis pencampuran plastik HDPE menunjukkan kecenderungan nilai VIM yang meningkat, hal ini terjadi karena plastik HDPE memiliki karakter yang lebih kuat dan tidak dapat meleleh sempurna meski dipanaskan hingga pada suhu 190 °C. Lelehan sebagian plastik HDPE menyebar rata

menuju rongga-rongga antar agregat dan sisannya yang masih dalam bentuk plastik HDPE lunak hanya melekat pada sedikit bagian agregat. Akibatnya, nilai bacaan VIM pada uji parameter *Marshall* mengalami tren kenaikan dikarenakan masih banyaknya rongga antar agregat yang tidak terisi aspal maupun plastik. Sedangkan pada penambahan kadar aspal pada jenis pencampuran plastik PP maupun campuran PP dan HDPE mengalami tren penurunan. Sifat PP yang lebih lunak dan mudah meleleh seluruhnya jika dipanaskan sekitar pada suhu 180 °C mengakibatkan lelehan PP tersebut lebih mengisi seluruh rongga antar agregat pada aspal. Pada jenis pencampuran plastik campuran PP dan HDPE, terjadi penggabungan sifat antara keduanya. Nilai VIM pencampuran plastik HDPE dan PP memang mengalami tren penurunan nilai VIM namun nilai yang dihasilkan masih lebih tinggi dibandingkan VIM pada PP.

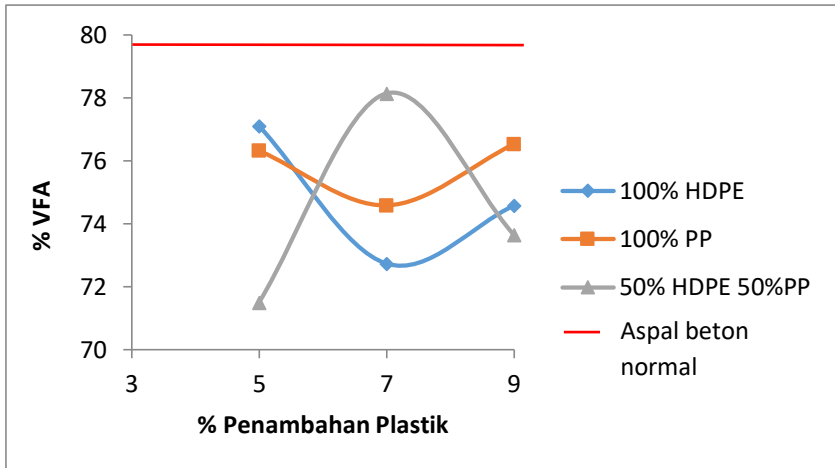
IV.3.4. Uji VFA (Rongga Terisi Aspal)

VFA merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal , tidak termasuk aspal yang teradsorbsi oleh masing-masing butir agregat.

Tabel 4.21 Uji VFA (Rongga Terisi Aspal) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Variabel Benda Uji	Nilai Uji VFA (%)
Aspal Beton normal	79,98
Penambahan 5% HDPE	77,10
Penambahan 5% PP	76,31
Penambahan 5% HDPE dan PP	71,50
Penambahan 7% HDPE	72,73
Penambahan 7% PP	74,57
Penambahan 7% HDPE dan PP	78,13
Penambahan 9% HDPE	74,57
Penambahan 9% PP	76,52
Penambahan 9% HDPE dan PP	73,64

* Hasil uji dari laboratorium bahan jalan Departemen Infrastruktur Teknik Sipil ITS Surabaya



Grafik 4.7. Uji VFA (Rongga terisi Aspal) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi aspal efektif dinyatakan dalam persen. Grafik 4.7 menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik pada substitusi aspal dapat mempengaruhi nilai VFA suatu campuran. Hasil uji menunjukkan harga VFA dari semua jenis tipe campuran penambahan plastik memenuhi syarat VFA spesifikasi Bina Marga, yaitu lebih dari 65%. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik HDPE 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai VFA mengalami tren penurunan sebesar 77,10 %, 72,73 %, 74,57 %. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik PP 5%, 7% dan 9% juga secara berturut-turut nilai VFA sebesar 76,31 %, 74,57 %, 76,52 % mengalami tren kenaikan meski pada konsentrasi 7% mengalami penurunan nilai VFA. Sedangkan pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik campuran HDPE dan PP 5%,

7% dan 9% secara berturut-turut nilai VFA mengalami tren kenaikan sebesar 71,50 %, 78,13 %, 73,64 %.

Penambahan kadar aspal pada jenis pencampuran plastik HDPE menunjukkan kecenderungan nilai VFA yang menurun, hal ini terjadi karena plastik HDPE memiliki karakter yang lebih kuat dan tidak dapat meleleh sempurna meski dipanaskan hingga pada suhu 190 °C. Lelehan sebagian plastik HDPE terserap oleh agregat dan sisannya yang masih dalam bentuk plastik HDPE lunak hanya melekat pada bagian permukaan agregat. Akibatnya, nilai bacaan VFA pada uji parameter *Marshall* mengalami tren penurunan dikarenakan persentase rongga agregat lebih banyak terisi aspal.

Sedangkan pada penambahan kadar aspal pada jenis pencampuran plastik PP maupun campuran PP dan HDPE mengalami tren kenaikan. Sifat PP yang lebih lunak dan mudah meleleh seluruhnya jika dipanaskan sekitar pada suhu 180 °C mengakibatkan lelehan PP tersebut mampu mengisi seluruh rongga dalam agregat pada aspal, sehingga aspal lebih sedikit persentasenya dalam mengisi rongga dalam agregat. Pada jenis pencampuran plastik campuran PP dan HDPE, terjadi penggabungan sifat antara keduanya. Nilai VFA pencampuran plastik HDPE dan PP memang mengalami tren penurunan nilai VFA namun nilai yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan VFA pada PP.

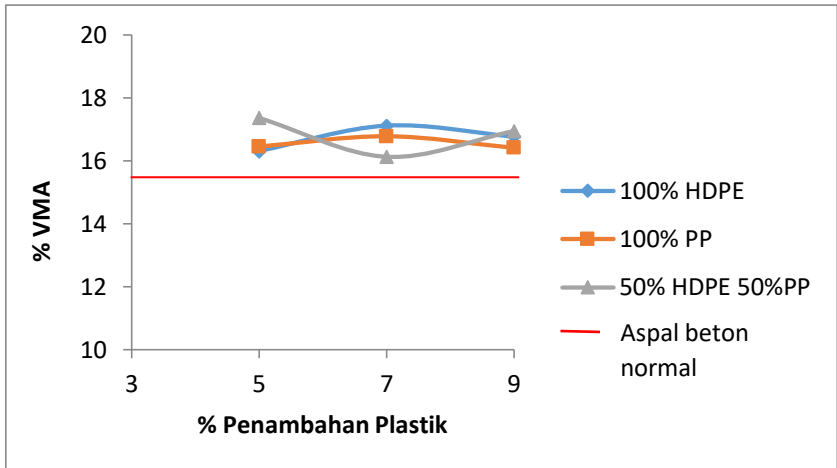
IV.3.5. Uji VMA (Rongga Dalam Agregat)

Rongga dalam Agregat atau VMA adalah ruang diantara partikel agregat pada perkerasan aspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang terserap agregat).

Tabel 4.22 Uji VMA (Rongga Dalam Agregat) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Variabel Benda Uji	Nilai Uji VMA (%)
Aspal Beton normal	15,81
Penambahan 5% HDPE	16,31
Penambahan 5% PP	16,45
Penambahan 5% HDPE dan PP	17,36
Penambahan 7% HDPE	17,12
Penambahan 7% PP	16,77
Penambahan 7% HDPE dan PP	16,13
Penambahan 9% HDPE	16,77
Penambahan 9% PP	16,41
Penambahan 9% HDPE dan PP	16,94

* Hasil uji dari laboratorium bahan jalan Departemen Infrastruktur Teknik Sipil ITS Surabaya



Grafik 4.8. Uji VMA (Rongga dalam Agregat) Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Grafik 4.8 menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik pada substitusi aspal dapat mempengaruhi nilai VMA suatu campuran. Hasil uji menunjukkan harga VMA dari semua jenis tipe campuran penambahan plastik memenuhi syarat VMA spesifikasi Bina Marga, yaitu lebih dari 15%. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik HDPE 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai VMA mengalami tren kenaikan sebesar 16,31 %, 17,12 %, 16,77 %. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik PP 5%, 7% dan 9% juga secara berturut-turut nilai VMA sebesar 16,45 %, 16,77 %, 16,41 % mengalami tren penurunan meski pada konsentrasi 7% mengalami kenaikan nilai VMA. Sedangkan pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik campuran HDPE dan PP 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai VMA mengalami tren penurunan sebesar 17,36 %, 16,13 %, 16,94 %.

Penambahan kadar aspal pada jenis pencampuran plastik HDPE menunjukkan kecenderungan nilai VMA yang meningkat, hal ini terjadi karena plastik HDPE memiliki karakter yang lebih kuat dan tidak dapat meleleh sempurna meski dipanaskan hingga pada suhu 190 °C. Lelehan sebagian plastik HDPE menyebar rata menuju rongga dalam agregat dan sisannya yang masih dalam bentuk plastik HDPE lunak hanya melekat pada bagian permukaan agregat. Akibatnya, nilai bacaan VMA pada uji parameter *Marshall* mengalami tren kenaikan dikarenakan masih banyaknya rongga dalam agregat yang tidak terisi aspal maupun plastik.

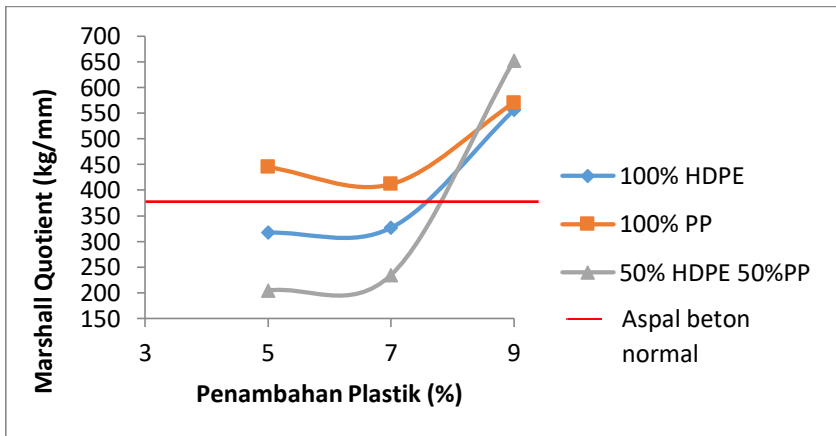
Sedangkan pada penambahan kadar aspal pada jenis pencampuran plastik PP maupun campuran PP dan HDPE mengalami tren penurunan. Sifat PP yang lebih lunak dan mudah meleleh seluruhnya jika dipanaskan sekitar pada suhu 180 °C mengakibatkan lelehan PP tersebut mampu mengisi seluruh rongga dalam agregat pada aspal. Pada jenis pencampuran plastik campuran PP dan HDPE, terjadi penggabungan sifat antara keduanya. Nilai VMA pencampuran plastik HDPE dan PP memang mengalami tren penurunan nilai VMA namun nilai yang dihasilkan masih lebih tinggi dibandingkan VMA pada PP.

IV.3.6. Uji Marshall Quotient

Tabel 4.23 Uji Marshall Quotient Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Variabel Benda Uji	Nilai Uji MQ (kg/mm)
Aspal Beton normal	364,7
Penambahan 5% HDPE	316,80
Penambahan 5% PP	444,88
Penambahan 5% HDPE dan PP	204,37
Penambahan 7% HDPE	326,25
Penambahan 7% PP	412
Penambahan 7% HDPE dan PP	234,47
Penambahan 9% HDPE	556,10
Penambahan 9% PP	570
Penambahan 9% HDPE dan PP	652,16

* Hasil uji dari laboratorium bahan jalan Departemen Infrastruktur Teknik Sipil ITS Surabaya



Grafik 4.9 Uji Marshall Quotient Pencampuran Plastik Terhadap Aspal.

Nilai *Marshall Quotient* (MQ). Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Bila nilai MQ terlalu tinggi, maka campuran akan cenderung terlalu kaku dan mudah retak. Sebaliknya bila nilai MQ terlalu rendah, maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil. Nilai MQ didapatkan dari rasio antara nilai stabilitas dan flow (kelelehan). Nilai MQ akan lebih besar jika nilai stabilitas semakin besar dan nilai *flow* semakin kecil.

Hasil uji menunjukkan harga MQ dari semua jenis tipe campuran penambahan plastik kecuali penambahan plastik 5% HDPE dan 7% campuran HDPE PP memenuhi syarat MQ spesifikasi Bina Marga, yaitu lebih dari 300 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada hasil pengujian aspal dengan penambahan plastik HDPE 5%, 7% dan 9% secara berturut-turut nilai MQ mengalami tren kenaikan sebesar 316,80 kg/mm, 326,25 kg/mm, 556,10 kg/mm. Pada pencampuran aspal dengan penambahan plastik PP 5%, 7% dan 9% juga secara berturut-turut nilai MQ mengalami tren kenaikan sebesar 444,88 kg/mm, 412 kg/mm, 570 kg/mm meskipun pada konsentrasi 7% mengalami penurunan nilai MQ. Pada pencampuran aspal dengan penambahan campuran plastik HDPE dan PP 5%, 7% dan 9% juga secara berturut-turut nilai MQ mengalami tren kenaikan sebesar 204,37 kg/mm, 234,47 kg/mm, 652,16 kg/m.

Hasil uji yang paling signifikan terlihat pada sampel aspal campuran dengan penambahan plastik 9%. Persentase kenaikan yang terjadi pada nilai penambahan plastik HDPE, PP dan campuran HDPE PP 9% secara berturut-turut dibandingkan dengan aspal KAO sebesar 152 %, 156 %, dan 179 %. Ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan plastik dengan konsentrasi 9% mampu meningkatkan kualitas aspal beton (LASTON) secara signifikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai penambahan limbah plastik HDPE dan PP terhadap aspal beton (LASTON) :

1. Penentuan titik softening suhu pencampuran plastik dengan aspal panas menggunakan model empiris persamaan Tait, dimana didapatkan kisaran data hasil perhitungan densitas untuk masing-masing variabel suhu pencampuran plastik. Grafik 4.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan terhadap plastik, maka densitas plastik akan semakin menurun. Kisaran suhu pencampuran masing-masing untuk plastik HDPE, PP dan campuran HDPE PP adalah $170^{\circ} - 180^{\circ} \text{ C}$, $180^{\circ} - 190^{\circ} \text{ C}$, $190^{\circ} - 200^{\circ} \text{ C}$.
2. Perencanaan kadar aspal optimum (KAO) sesuai dengan pemeriksaan parameter marshall didapatkan nilai KAO terbaik untuk aspal beton sebesar 5,7 %. Penambahan aspal 5,7% akan menjadi acuan untuk pembuatan aspal beton terhadap substitusi plastik. Berat sampel aspal yang digunakan adalah 1200 gram, dengan komposisi 38% agregat halus, 48% agregat sedang, 12% agregat kasar, 2 % filler dan 5,7% aspal.
3. Hasil uji terbaik pada hasil penambahan plastik pada pencampuran aspal beton didapatkan pada persentase plastik campuran HDPE : PP 9 %. Nilai stabilitas didapat sebesar 2989,06 kg, nilai flow 4,4 mm, nilai VIM 4,47 %, nilai VFA 73,64 %, nilai VMA 16,94 % dan nilai MQ 652,16 kg/mm.

V.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian, maka penulis merekomendasikan berupa saran-saran sebagai berikut :

1. Agar pencampuran plastik pada aspal panas lebih homogen ketika dicampurkan, sebelumnya maka disarankan agar plastik dipotong dengan ukuran sekecil mungkin.
2. Untuk mendapatkan hasil uji sampel aspal plastik beton yang akurat dan terbaik, disarankan untuk lebih selektif dalam memilih bahan fraksi agregat, karena agregat memegang peranan yang sangat penting dalam uji parameter marshall.
3. Hasil Uji Marshall Quotient pada konsentrasi penambahan plastik 9% menunjukkan peningkatan kualitas aspal beton yang signifikan, dianjurkan kepada peneliti sejenis agar variabel penambahan plastik untuk ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadinia E. Zargar M. Karim M. Abdelaziz M. (2011). *Using Waste Plastic Bottles as Additive for Stone Mastic Asphalt*. 2011,4884

Ahmadinia E. Zargar M. Karim M. Abdelaziz M. (2012). *Performance Evaluation of Utilization of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) in Stone Mastic Asphalt*. 2012, 984-989

Al-Hadidy A. Yi-Qiu T. (2009). *Effect of Polyethylene on life Flexible Pavement*. 2009,1456-1464

Emrizal. (2009). Pemanfaatan Material Daur Ulang Aspal Beton untuk Material Aspal Beton Campuran Dingin Memakai Aspal Emulasi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Gawende A. Zanere G. Renge V. (2012). *An Overview on Waste Plastic Utilization in Asphalting of Roads*, E-ISSN0976-7916

Gawende A. Zanere G. Renge V. (2012). *Utilization of Waste Plastic in a Asphalting of Roads*. 2012, 147-157.

Hardwiyono S. (2013). Metode Pelaksanaan Jalan. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Huang Y. Bird R. Heidrich O. (2007). *A Review of the use of recycle solid waste materials in asphalt pavements*. 52,2007.58-73

Purnamasari Eliza P. Suryaman F. (2010) Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tamba Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston). Universitas jaya Yogyakarta.

Rajasekaran S. Vasudevan R. Paulraj S. (2013). *Reuse of Waste Plastics Coated Aggregat Bituminus Mix Composite for Road Application-Green Method*. AJER 2320-0936

Simanjuntak S. Saragi Yetty R. (2012). Analisa Perbandingan Kualitas Aspal Beton dengan Filler Bentonite. Universitas HKBP Nommensen, Medan.

Vasdevan R. Ramalinga A. Sundarakanan B. Velkenedy R. (2012). *A Technique to Dispose Waste Plastic in an Ecofriendly way-Application in Contruction of Flexible Pavement*, 2012, 311-320

APPENDIKS A

PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN, JUMLAH BAKTERI DAN POWER DENSITY

A.1 Perhitungan Densitas dan Viskositas

Untuk mengetahui densitas plastik ditinjau dari volume molarnya, volume molar dihitung dengan persamaan *Tait* persamaan 4.1 :

Tabel A.1 Data $V(0,T)$ dan $B(T)$ diketahui dalam tabel berikut :

Jenis Polimer	$V(0,t)$	$B(T)$
HDPE	$1,1595 + 8,0394 \times 10^{-4} t$	$1799 \exp(-4,739 \times 10^{-3} t)$
PP	$1,1606 \exp(6,700 \times 10^{-4} t)$	$1491 \exp(-4,177 \times 10^{-3} t)$

Perhitungan volume molar HDPE suhu 150°C

$$\begin{aligned}
 V(0,T)_{HDPE} &= 1,1595 + 8,0394 \times 10^{-4} (T) \\
 &= 1,1595 + 8,0394 \times 10^{-4} \quad 150 \\
 &= 1,280 \quad \text{cm}^3/\text{g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B(T)_{HDPE} &= 1799 \times \exp(-4,739 \times 10^{-3} (T)) \\
 &= 1799 \times \exp(-4,739 \times 10^{-3} \quad 150) \\
 &= 883,716
 \end{aligned}$$

$$C = \text{Konstanta umum untuk polimer (0,0894)}$$

maka

$$\begin{aligned}
 V(P,T) &= V(0,T) \cdot \{1 - C \ln [1 + P/B(T)]\} \\
 &= 1,280 \times \{1 - 0,0894 \ln (1 + 1 / 883,716)\} \\
 &= 1,27996 \text{ cm}^3/\text{g}
 \end{aligned}$$

$$\text{Densitas} = \frac{1}{V}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Densitas} &= \frac{1}{1,27996} \\
 &= 0,78127 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung densitas dari semua sampel.

Tabel A.2 Data Perhitungan densitas plastik suhu 150 – 200 °C

Perbandingan campura massa plastik (HDPE :PP)		Densitas					
		gr/cm ³					
		150	160	170	180	190	200
100	: 0	0,781	0,7764	0,7715	0,7668	0,7621	0,7575
50	: 50	0,7802	0,7752	0,7702	0,7653	0,7604	0,7556
0	: 100	0,7793	0,7741	0,7689	0,7638	0,7587	0,7536

A.2 PENENTUAN KAO

A.2.1 Analisa Saringan

Tabel A.3 Analisa saringan agregat kasar (10-10 mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	1596,4	1596,5	71,43	28,57
3/8"	411,0	2007,5	89,92	10,18
No. 4	56,5	2064,0	92,35	7,65
No. 8	-	-	-	-
No. 16	-	-	-	-
No. 30	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-
Berat sampel :		2235 gram		

Tabel A.4 Analisa saringan agregat sedang (5-10mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	10,0	10,0	0,42	99,58
3/8"	30,5	40,5	1,72	98,28
No. 4	1193,0	1233,5	52,41	47,59
No. 8	916,0	2149,5	91,33	8,67
No. 16	45,0	2194,5	93,24	6,76
No. 30	5,5	2200,0	93,48	6,52
No. 50	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-
Berat sampel :		2353,5 gram		

Tabel A.5 Analisa saringan agregat halus (0-5mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	10,0	10,0	0,45	99,55
No. 4	42,5	52,5	2,35	97,65
No. 8	362,5	415,0	18,60	81,40
No. 16	877,0	1292,0	57,91	42,09
No. 30	305,0	1597,0	71,58	28,42
No. 50	152,0	1749,0	78,40	21,60
No. 100	234,0	1983,0	88,88	11,12
No. 200	75	2085,0	92,25	7,75
Berat sampel :		2231 gram		

Tabel A.6 Analisa saringan Filler

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 4	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 8	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 16	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 30	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 50	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 100	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 200	0,0	0,0	0,0	100,0
Berat sampel :		1450 gram		

Tabel A.7 Hasil uji sifat fisik agregat

No.	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
Agregat kasar (10-10mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	1,69%	Memenuhi
2.	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,48%	Memenuhi
3.	Keausan	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	23,65%	Memenuhi
Agregat Medium (5-10mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,64%	Memenuhi
2.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,56%	Memenuhi
Agregat Halus (0-5mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,49%	Memenuhi
2.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,51%	Memenuhi
Filler (Semen Portland)					
1.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,70	Memenuhi

Tabel A.8 Hasil pengujian karakteristik aspal

No.	Pengujian	Metode	Syarat		Hasil
			Min.	Max	
1.	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60	79	70,08
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	56
3.	Titik Nyala	SNI 06-2434-1991	200	0	210
4.	Daktilitas	SNI 06-2434-1991	100	-	125
5.	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,038
6.	Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1	-	1,029

Perhitungan fraksi agregat dan kadar optimum aspal

1. Variasi komposisi gradasi agregat gabungan

$$FA = \sum \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right)$$

dimana ,

% CA = prosentase agregat yang telah ditentukan sesuai perhitungan *combined agregat*

$$\begin{aligned}
 \text{sedang} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\
 &= 8,7 \times \frac{48}{100} \\
 &= 4,176
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{halus} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\
&= 81,4 \times \frac{38}{100} \\
&= 30,932 \\
\text{filler} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\
&= 100 \times \frac{2}{100} \\
&= 2,00 \\
\text{maka ,} \\
FA &= (4,176 + 30,932 + 2,00) \\
&= 37,09 \%
\end{aligned}$$

2. Variasi komposisi gradasi agregat gabungan (no. 200)

$$\begin{aligned}
FA &= \sum \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\
\text{halus} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\
&= 7,75 \times \frac{38}{100} \\
&= 2,945 \\
\text{filler} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\
&= 100 \times \frac{2}{100} \\
&= 2,00 \\
\text{maka ,} \\
FA &= (2,945 + 2,00) \\
&= 4,945 \%
\end{aligned}$$

Nilai fraksi butiran didapat :

$$\begin{aligned}\text{kasar} &= 100 - 37,09 \% \\ &= 62,91 \% \\ \text{sedang} &= 37,09 - 4,95 \% \\ &= 32,15 \% \\ \text{halus} &= 4,95 \% \\ \text{total} &= \mathbf{62,91 + 32,15 + 4,95 = 100 \%}\end{aligned}$$

Perkiraan aspal terpakai secara gradasi :

$$\begin{aligned}\text{Pb} &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) \\ &\quad + \text{Konstanta} \\ &= (0,035 \times 62,91) + (0,045 \times 32,15) + \\ &\quad (0,18 \times 2) + 0,5 \\ &= 5,04 \%\end{aligned}$$

Nilai fraksi butiran didapat :

$$\begin{aligned}\text{Kasar} &= 62,91 \times \left(\frac{100-5,04}{100} \right) \% \\ &= 59,74 \% \\ \text{Sedang} &= 32,15 \times \left(\frac{100-5,04}{100} \right) \% \\ &= 30,53 \% \\ \text{Halus} &= 4,95 \times \left(\frac{100-5,04}{100} \right) \% \\ &= 4,70 \% \\ \text{Total} &= \mathbf{59,74 + 30,53 + 4,70 = 94,97 \%}\end{aligned}$$

Maka nilai fraksi desain butiran campuran didapat sebesar :

$$\text{Total} = 94,64 + 5,04 = 100 \%$$

Untuk menentukan nilai awal penyerapan aspal, dilakukan perhitungan nilai penyerapan air untuk setiap jenis agregat :

$$\begin{aligned} \text{Agr. Kasar} &= 0,12 \times 1,696 = 0,204 \\ \text{Agr. Sedang} &= 0,48 \times 1,642 = 0,788 \\ \text{Agr. Sedang} &= 0,38 \times 1,497 = 0,569 \\ \text{Total} &= 1,561 \end{aligned}$$

Maka, nilai penyerapan aspal didapat sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Penye. Aspal} &= \text{kons} \times 1,561 \\ &= 0,45 \times 1,561 \\ &= 0,702 \end{aligned}$$

$$\text{Kadar aspal} = 0,702 + 5,04 = 5,7 \%$$

Variasi penambahan aspal rencana

Jumlah variasi penambahn aspal sebagai berikut : 4,7 ; 5,2 ; 5,7 ; 6,2 ; 6,7.

Tabel A.9 Variasi campuran sampel aspal KAO 4,7%

Kadar aspal optimum	:	4,70	%
Berat sampel	:	1200	gr
Berat kadar aspal	:	56,40	gr
Berat Filler	2% :	434,57	gr
Berat Agr. Halus	38% :	548,93	gr
Berat Agr. Sedang	48% :	137,23	gr
Berat Agr. Kasar	12% :	22,87	gr
Total		1200,00	gr

Tabel A.10 Variasi campuran sampel aspal KAO 5,2%

Kadar aspal optimum	:	5,20	%
Berat sampel	:	1200	gr
Berat kadar aspal	:	62,40	gr
Berat Filler	2% :	432,29	gr
Berat Agr. Halus	38% :	546,04	gr
Berat Agr. Sedang	48% :	136,51	gr
Berat Agr. Kasar	12% :	22,75	gr
Total		1200,00	gr

Tabel A.11 Variasi campuran sampel aspal KAO 5,7%

Kadar aspal optimum	:	5,70	%
Berat sampel	:	1200	gr
Berat kadar aspal	:	68,40	gr
Berat Filler	2% :	430,01	gr
Berat Agr. Halus	38% :	543,16	gr
Berat Agr. Sedang	48% :	135,79	gr
Berat Agr. Kasar	12% :	22,63	gr
Total		1200,00	gr

Tabel A.12 Variasi campuran sampel aspal KAO 6,2%

Kadar aspal optimum	:	6,20	%
Berat sampel	:	1200	gr
Berat kadar aspal	:	74,40	gr
Berat Filler	2% :	427,73	gr
Berat Agr. Halus	38% :	540,28	gr
Berat Agr. Sedang	48% :	135,07	gr
Berat Agr. Kasar	12% :	22,51	gr
Total		1200,00	gr

Tabel A.13 Variasi campuran sampel aspal KAO 6,7%

Kadar aspal optimum	:	6,70	%
Berat sampel	:	1200	gr
Berat kadar aspal	:	80,40	gr
Berat Filler	2%	:	425,45 gr
Berat Agr. Halus	38%	:	537,41 gr
Berat Agr. Sedang	48%	:	134,35 gr
Berat Agr. Kasar	12%	:	22,39 gr
Total		1200,00	gr

Tabel A.14 Hasil uji dari variasi aspal

Parameter Uji	Spesifikasi	Kadar penambahan aspal (%)				
		4,7	5,2	5,7	6,2	6,7
Stabilitas	>1000 kg	1316	1356	1593	1524	1731
Flow	>3 mm	3,8	4,25	4,32	4,3	4,1
VIM	3,0-5,5 %	2,7	3,01	3,17	2,73	2,31
VFA	>65%	79,82	79,46	79,98	83,16	86,5
VMA	>15%	13,31	14,64	15,81	16,6	17,1
MQ	>300 kg/mm	346,3	319,4	364,7	354,3	422,3

Nilai kadar aspal optimum 5,7%

total berat satu sample = 1200 g

aspal yang di tambahkan = $\frac{5,7}{100} \times 1200$
= 68,4 g

$$\begin{aligned}\text{Agregat} &= \frac{94,3}{100} \times 1200 \\ &= 1131,6 \text{ g}\end{aligned}$$

agregat 94,3% yang terbagi menjadi :

Tabel A.15 Kadar Agregat

Jenis agregat	Kadar (%)	Berat (gram)
Agragat Kasar	12	135,792
Agragat Sedang	48	543,168
Agregat Halus	38	430,008
Filler	2	22,632
Total	100	1131,6

A.3 Perhitungan plastik yang disubstitusi untuk penggantian aspal.

Penambahan 5%

$$\begin{aligned}\text{- plastik} &= \frac{5}{100} \times 68,4 \\ &= 3,42 \text{ gr}\end{aligned}$$

Penambahan 7%

$$\begin{aligned}\text{- plastik} &= \frac{7}{100} \times 68,4 \\ &= 4,788 \text{ gr}\end{aligned}$$

Penambahan 9%

$$\begin{aligned}\text{- plastik} &= \frac{9}{100} \times 68,4 \\ &= 6,156 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ aspal} &= 68,4 - 3,42 \\
 &= 65 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ aspal} &= 68,4 - 4,79 \\
 &= 63,6 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ aspal} &= 68,4 - 6,16 \\
 &= 62,2 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

A.4 Hasil uji analisa aspal jalan denagn penambahan plastik

A.4.1 Uji stabilitas

Nilai stabilitas didapat daro perkalian antar hasil pembacaan alat uji stabilitas di kali klalibrasi alat,

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilitas} \quad \text{Penambahan 5\%HDPE} &= \text{Pembacaan arloji} \\
 &\quad \text{stabilitas} \quad \times \\
 &\quad \text{kalibrasi alat} \\
 &= 108 \times 13,90 \\
 &= 1496
 \end{aligned}$$

Tabel A.16 Hasil Perhitungan Stabilitas

Variabel Pencampuran Plastik		Nilai pembacaan Alat	Nilai kalibrasi alat	Nilai Stabilitas Aspal (kg)
%	Jenis plastik			
5	HDPE	108	13,90 kg	1501
	PP	130		1807
	HDPE : PP	98		1362
7	HDPE	110		1529
	PP	145		2016
	HDPE : PP	130		1807
9	HDPE	150		2085
	PP	205		2850
	HDPE : PP	215		2989

Spesifikasi aspal Bina Marga 2010 adalah **>1000 kg**

A.4.2 Uji Flow

Nilai flow didapat dari pembacaan alat :

Tabel A.16 Hasil Perhitungan Stabilitas

Variabel Pencampuran Plastik		Standart Bina Marga 2010	Nilai Flow Aspal
%	Jenis plastik		
5	HDPE	>3 mm	4,55
	PP		3,9
	HDPE : PP		6,4
7	HDPE		4,5
	PP		4,7
	HDPE : PP		7,4
9	HDPE		3,6
	PP		4,8
	HDPE : PP		4,4

A.4.3 Uji Rongga

a	=	% Aspal terhadap batuan	
b	=	% Aspal Terhadap Campuran	
c	=	Berat kering	(gr)
d	=	Berat dalam keadaan jenuh	(gr)
e	=	Berat dalam air	(gr)
f	=	Isi benda uji	= d - e
g	=	BD Bulk Campuran =	$\frac{c}{f}$
h	=	Berat Maksimum (teoritis)	
		100	
		$\frac{100}{((100 - b)/Bj\ agg) + (b/ Bj\ asp)}$	

$$Bj\ agg = 2,56$$

$$Bj\ asp = 1,03$$

$$\begin{aligned} i &= \text{Volume total aspal} \\ &= \frac{bxg}{Bj\ asp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} j &= \text{Volume total agregat} \\ &= \frac{(100 - b) \times g}{Bj\ agg} \end{aligned}$$

a) Rongga dalam campuran

$$\text{Rongga dalam campuran} = 100 - (100 \times \frac{g}{h})$$

$$\begin{aligned} g &= \frac{1186}{1202 - 680} \\ &= 2,272 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{100}{((100 - 5,70) \times 2,56) + (5,70 \times 1,03)} \\ &= 2,36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rongga dalam campuran} &= 100 - (100 \times \frac{g}{h}) \\
 &= 100 - (100 \times \frac{2,272}{2,36}) \\
 &= 3,7
 \end{aligned}$$

Tabel A.17 Nilai perhitungan Rongga dalam campuran

Variabel Pencampuran Plastik		b	c	d	e	f	g	h	Rongga Dalam Campuran (%)
%	Jenis plastik								
5	HDPE	5,70	1186	1202	680	522	2,272	2,36	3,7
	PP	5,70	1184	1200	678	522	2,268	2,36	3,90
	HDPE : PP	5,70	1180	1198	672	526	2,243	2,36	4,95
7	HDPE	5,70	1188	1206	678	528	2,250	2,36	4,67
	PP	5,70	1184	1200	676	524	2,260	2,36	4,26
	HDPE : PP	5,70	1184	1204	684	520	2,277	2,36	3,53
9	HDPE	5,70	1184	1208	684	524	2,260	2,36	4,26
	PP	5,70	1180	1200	680	520	2,269	2,36	3,9
	HDPE : PP	5,70	1186	1208	682	526	2,255	2,36	4,47

a) Rongga Terisi aspal

$$i = \frac{5,7 \times 2,26}{1,03} = 12,5$$

$$j = \frac{(100-5,70) \times 2,260}{2,56} = 83,23$$

$$l = 100 - j = 100 - 83,23 = 16,77 \%$$

$$\text{Rongga terisi} = i / l * 100 = 12,5 / 16,7 \times 100 = 74,57 \%$$

Tabel A.18 Nilai perhitungan Rongga Terisi Aspal

Variabel Pencampuran Plastik		i	j	l	Rongga Terisi aspal (%)
%	Jenis plastik				
5	HDPE	12,57	83,69	16,31	77,10
	PP	12,55	83,55	16,45	76,31
	HDPE : PP	12,41	82,64	17,36	71,50
7	HDPE	12,45	82,88	17,12	72,73
	PP	12,50	83,23	16,77	74,57
	HDPE : PP	12,60	83,87	16,13	78,13
9	HDPE	12,50	83,23	16,77	74,57
	PP	12,56	83,59	16,41	76,52
	HDPE : PP	12,48	83,06	16,94	73,64

b) Rongga dalam agregat

Rongga dalam agregat = l

$$l = 100 - j = 100 - 83,23 = 16,77 \%$$

Tabel A.19 Nilai perhitungan Rongga dalam Agregat

Variabel Pencampuran Plastik		j	Rongga dalam agregat (%)
%	Jenis plastik		
5	HDPE	83,69	16,31
	PP	83,55	16,45
	HDPE : PP	82,64	17,36
7	HDPE	82,88	17,12
	PP	83,23	16,77
	HDPE : PP	83,87	16,13
9	HDPE	83,23	16,77
	PP	83,59	16,41
	HDPE : PP	83,06	16,94

A.4.4 Perhitungan Marshall Quoetion

Marshall Quoetion (MQ) adalah rasio perbandingan Stabilitas dengan Flow

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas} \times 0,96}{\text{Flow}}$$

Tabel A.20 Nilai perhitungan nilai Stabilitas

Variabel Pencampuran Plastik		Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
%	Jenis plastik			
5	HDPE	1441	4,55	317
	PP	1735	3,9	445
	HDPE : PP	1308	6,4	204
7	HDPE	1468	4,5	326
	PP	1935	4,7	412
	HDPE : PP	1735	7,4	234
9	HDPE	2002	3,6	556
	PP	2736	4,8	570
	HDPE : PP	2869	4,4	652

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Luqman Hakim, dilahirkan di Jombang, 04 Februari 1994, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari MIN Rejoso Darul Ulum Peterongan Jombang, SMP Negeri 3 Rejoso Darul Ulum Peterongan Jombang, SMA Darul Ulum 2 Rejoso Peterongan Jombang, D3 Teknik Kimia FTI-

ITS pada masa pendidikan D3 penulis menyelesaikan tugas akhir penelitian tentang pemurnian garam skala industri rumah, penulis diterima di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 2315106012. Di Departemen Teknik Kimia penulis memilih Laboratorium Penelitian Pengolahan Limbah Industri, penulis telah menyelesaikan tugas pra desain pabrik dengan judul “ Pra Desain Pabrik Asam Sulfat dari Belerang dengan Proses Doubel Kontak Doubel Absorsi” dan skripsi dengan judul “Pengolahan Limbah Plastik dengan Metode Mix Plastic Softening Agregate untuk Meningkatkan Ketahanan dan Kualitas Aspal Beton (LASTON) Ramah Lingkungan” menjadikan penulis sebagai Sarjana Teknik. Semasa kuliah penulis aktif dalam beberapa organisasi, baik organisasi internal maupun eksternal.

e-mail : luqmanoke@gmail.com

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Ferry Ida Nur Aini, dilahirkan di Tuban, 01 Maret 1994, merupakan anak pertama. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari SDN Kembangbilo 1 Tuban, SMP Negeri 3 Tuban, SMA Negeri 2 Tuban, D3 Teknik Kimia FTI-ITS, pada masa pendidikan D3 penulis menyelesaikan tugas akhir desain pabrik Pembuatan Benzene, penulis diterima di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 2315106013. Di Departemen Teknik Kimia penulis memilih Laboratorium Penelitian Pengolahan Limbah Industri, penulis telah menyelesaikan tugas pra desain pabrik dengan judul “Pra Desain Pabrik Asam Sulfat dari Belerang dengan Proses Double Kontak Double Absorpsi” dan skripsi dengan judul “Pengolahan Limbah Plastik dengan Metode Mix Plastic Softening Agregate untuk Meningkatkan Ketahanan dan Kualitas Aspal Beton (LASTON) Ramah Lingkungan” menjadikan penulis sebagai Sarjana Teknik. Semasa kuliah penulis aktif dalam beberapa organisasi, baik organisasi internal maupun eksternal

e-mail : ferry.ida77@gmail.com